To Mister Ockerson
With compliments from the author
Léon Wladimirof

620
P19e
no. 16

Л. Л. Владиміровъ.

Adress "Lodeïnoé Pole"
gouvernement d'Olonetz

New ideas about the formation of the anchor ice and frazil and floods providing from its action

НОВЫЯ ПОНЯТІЯ

О

ПРОЦЕССАХЪ ЗАМЕРЗАНІЯ РѢКЪ

И

ОБЪ ОБРАЗОВАНІИ

ЗИМНИХЪ ЗАТОРОВЪ ЛЬДА.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. М. П. С. (Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К°), Фонтанка, 117.
1907.

LIBRARY OF THE
UNIVERSITY
OF ILLINOIS
COLLEGE OF
ENGINEERING

From the library of
JOHN AUGUSTUS
OCKERSON
CLASS OF 1873
Presented May 1, 1924
by his Widow CLARA
SHACKELFORD OCKERSON

620
P19e
No. 16

Л. Л. Владиміровъ.

НОВЫЯ ПОНЯТІЯ

О

ПРОЦЕССАХЪ ЗАМЕРЗАНІЯ РѢКЪ

И

ОБЪ ОБРАЗОВАНІИ

ЗИМНИХЪ ЗАТОРОВЪ ЛЬДА.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. М. П. С. (Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К°), Фонтанка, 117.
1907.

НОВЫЯ ПОНЯТІЯ О ПРОЦЕССАХЪ ЗАМЕРЗАНІЯ РѢКЪ И ОБЪ ОБРАЗОВАНІИ ЗИМНИХЪ ЗАТОРОВЪ ЛЬДА.

(Съ чертежами на листѣ II и 9 политипажами, помѣщенными въ текстѣ).

I.

Въ настоящее время совершается глубокій переворотъ во всѣхъ нашихъ понятіяхъ о процессахъ замерзанія текучей воды и о сущности такихъ, казалось-бы, обыденныхъ явленій, какъ рѣчной ледоходъ.

Оказывается, существенную, или, точнѣе говоря, преобладающую роль въ явленіяхъ рѣчного ледохода, ледостава и въ образованіи подводныхъ ледяныхъ запрудъ при заторахъ льда играютъ не плотныя льдины, отрываемыя теченіемъ отъ „забереговъ", и не снѣжные осадки, а особый рыхлый, губчатый видъ льда, образующійся на теченіи въ водѣ, на днѣ рѣкъ и на предметахъ, расположенныхъ между поверхностью и дномъ рѣки. Кристаллы этого льда, тѣмъ не менѣе, по физическимъ свойствамъ своимъ, одинаковы съ кристаллами обыкновеннаго плотнаго льда.

Рыхлый ледъ, находящійся въ прикрѣпленномъ къ дну состояніи, будетъ правильно именовать „доннымъ" льдомъ, по мѣсту нахожденія.

„Шугой", „ледянымъ саломъ", или „ледянымъ наносомъ" будетъ одинаково правильно именовать плывущій по рѣкѣ, отдѣлившійся отъ дна, рыхлый ледъ, пока онъ не окрѣпъ, а также сцѣпившіяся въ водѣ массы кристалловъ льда, изъ которыхъ наростаніе доннаго льда образуется.

Образованіе рыхлаго доннаго льда давно уже замѣчалось рыбаками и водоходцами на многихъ рѣкахъ, но вопросу этому не придавалось общее значеніе, и даже фактъ образованія въ осеннее

время въ рѣкахъ на всемъ протяженіи Европейской Россіи доннаго льда, который въ разныхъ губерніяхъ имѣлъ разныя мѣстныя названія, оставался, въ большинствѣ случаевъ, до самаго послѣдняго времени неизвѣстнымъ и людямъ науки, и спеціалистамъ воднаго дѣла.

Образованіе этого рода льда, составныя части котораго, какъ упоминалось, имѣютъ то же кристаллическое строеніе, какъ и у плотнаго поверхностнаго льда, происходитъ, при пониженіи температуры воздуха ниже точки замерзанія, послѣ пониженія температуры воды въ рѣкѣ до 0^0 и находится въ тѣсной связи съ другимъ, тоже мало извѣстнымъ фактомъ однообразія температуры воды у дна и у поверхности рѣки, въ противоположность тому, что наблюдается въ стоячей водѣ, на что до сихъ поръ тоже не обращалось должнаго вниманія, и явленіе это не обобщалось въ свойство, присущее текучей водѣ, въ отличіе отъ стоячей воды, въ которой послѣ пониженія температуры воды до $+4^0$ С., при дальнѣйшемъ охлажденіи, наиболѣе холодные слои воды, будучи менѣе плотными, по удѣльному вѣсу своему, остаются у поверхности и такимъ образомъ при достиженіи верхнимъ слоемъ воды температуры 0^0, послѣдующіе нижніе слои стоячей воды будутъ имѣть высшую температуру, постепенно увеличивающуюся, вплоть до постоянной температуры, которую имѣетъ масса нижележащихъ слоевъ воды *).

Въ рѣкѣ происходитъ, какъ мы указали, иной феноменъ однообразія температуры воды у дна и поверхности, но обстоятельство это можно обнаружить только въ томъ случаѣ, если измѣрять температуру непосредственно на теченіи **), на фарватерѣ, но не у береговъ въ тихихъ „заводяхъ“ и не за дамбами, или въ „затонахъ“, гдѣ вода, по состоянію своему, приближается къ стоячей водѣ, а именно на теченіи главнаго фарватера. Иначе, при наблюденіяхъ въ „заводяхъ“, за береговыми выступами, пристанями и т. п., наблюденія будутъ давать только температуру даннаго мѣста, въ которомъ верхніе слои будутъ въ осеннее время холоднѣе температуры массы воды на теченіи, а лѣтомъ,

*) Напр., на оз. Байкалѣ вода на глубинѣ 150 метровъ имѣетъ постоянную температуру $+3{,}5^0$ С., хотя верхніе слои воды лѣтомъ нагрѣваются до 13^0 С., а зимой на поверхности подъ льдомъ охлаждаются до $+0{,}5^0$ С. Въ Онежскомъ каналѣ осенью 1902 г. мною наблюдалось поверхностное покрытіе льдомъ канала, глубиной 1 саж., при температурѣ воды на днѣ $+{}^3/_5{}^0$.

**) Для устраненія погрѣшности при отсчетѣ, можно опускать термометръ въ стеклянный сосудъ, завязанный сверху полотномъ, и при отсчетѣ не вынимать термометра изъ сосуда съ водой.

при нагрѣваніи солнцемъ, теплѣе ея. На обстоятельство это, особенно на большихъ рѣкахъ, необходимо обратить особенное вниманіе, такъ какъ иначе, даже при тщательныхъ наблюденіяхъ, можетъ получиться совершенно невѣрное представленіе о періодическомъ суточномъ колебаніи температуры воды, которое на теченіи тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе масса текучей воды *).

Однообразіе температуры воды въ массѣ ея на теченіи, у дна и у поверхности, даетъ наглядное доказательство перемѣшиванія всѣхъ слоевъ воды въ рѣкѣ независимо, какъ оказывается, отъ быстроты теченія, что обусловливается существующимъ въ рѣкахъ уклономъ воды и неровностями русла рѣкъ, вызывающими вращательное движеніе частицъ воды.

Въ началѣ, при наблюденіяхъ моихъ температуры воды въ рѣкѣ Свири съ 1898 г., вопросъ указываемаго однообразія температуры во всѣхъ слояхъ воды большой рѣки интересовалъ меня, поскольку это давало указаніе на степень подготовленности рѣки къ замерзанію, такъ какъ вопросъ о степени подготовки водныхъ путей къ замерзанію, зависящій отъ общихъ и мѣстныхъ причинъ, вообще не имѣлъ разработки, между тѣмъ необходимость для судоходцевъ считаться въ концѣ навигаціи съ температурой воды, чтобы не быть застигнутыми врасплохъ, казалась ясной сама собой.

Но послѣ сообщенія результатовъ моихъ наблюденій съѣзду инженеровъ и чиновъ инспекціи судоходства въ г. Вытегрѣ въ 1901 г. объ однообразіи температуры р. Свири на днѣ и у поверхности, что относилось мною къ свойству текучей воды **), и о наблюденномъ фактѣ подготовленности р. Свири къ появленію ледохода при температурѣ $+1^1/_2{}^0$, когда черезъ сутки, при особо неблагопріятныхъ атмосферическихъ условіяхъ, послѣ оттепели, при наступленіи мороза до -8^0, соединеннаго со снѣжною мятелью, наступаетъ сплошной ледоходъ, съ означеннымъ вопросомъ послѣ озна-

*) Примѣромъ сомнительности выводовъ, при неопредѣленныхъ условіяхъ наблюденій, можетъ служить сообщеніе П. И. Ваннари о температурѣ р. Лены, помѣщенное къ т. XIV Извѣстій 1901 г. Императорской Академіи Наукъ. Въ сообщеніи указывается, что въ лѣтніе мѣсяцы 1899 г. суточное колебаніе навѣрное превышало 4^0, такъ какъ разности температуры между 7 час. утра и 1 час. дня достигали $3{,}7^0$. Такого періодическаго суточнаго колебанія температуры воды въ большихъ рѣкахъ Западной Европы, добавляетъ авторъ, нигдѣ еще не наблюдалось. Въ виду такого утвержденія, при большомъ объемѣ массы воды въ р. Ленѣ, мы вправѣ были бы ожидать описанія мѣста и способа производства наблюденій.

**) „Образованіе льда на днѣ рѣкъ и процессы замерзанія водъ стоячихъ и текучихъ“, Л. Владиміровъ, 1904 г.

комленія съ взглядами инженеровъ Н. С. Максимовича и С. Г. Максимова, которые пришли къ тому же заключенію въ трудахъ своихъ 1901 г., причемъ указывалось и на наблюденія г. Жука на р. Днѣпрѣ въ 1890 г., пришлось вновь столкнуться, при замѣченныхъ обстоятельствахъ еще большей важности, а именно, при установленіи въ представленіи моемъ новаго понятія о процессахъ замерзанія всѣхъ вообще рѣчныхъ путей, которые оказываются въ основной сущности своей совсѣмъ иными, чѣмъ принято полагать.

Вопросъ объ установленіи новыхъ понятій былъ выставленъ мною въ опредѣленной формѣ осенью 1902 г., послѣ слѣдующаго страннаго наблюденія, которое пришлось мнѣ сдѣлать 4 ноября того же года, при температурѣ воды р. Свири 0° и морозѣ около 4°, послѣ полудня, въ совершенно ясную и солнечную погоду.

Находясь на берегу рѣки ниже поверхностнаго затора льда, который, при начавшемся сплошномъ ледоходѣ въ тотъ день, образовался въ колѣнѣ рѣки выше гор. Лодейнаго Поля, я былъ пораженъ необычайнымъ явленіемъ нырянія со дна рѣки на поверхность глыбъ рыхлаго, снѣгообразнаго льда, съ шумомъ и шипѣніемъ выскакивавшихъ изъ воды отъ инерціи, видимо развиваемой при всплываніи со дна. Глыбы эти, очень большого объема и темнаго цвѣта, напоминали мнѣ, ранѣе видѣнныхъ въ Ледовитомъ океанѣ, нырявшихъ тюленей.

Выскочивъ и нѣсколько поднявшись надъ водой, глыбы эти вновь грузно опускались въ воду, переваливаясь съ боку на бокъ. постепенно бѣлѣли съ поверхности, какъ будто отъ только-что на ихъ поверхность выпавшаго снѣга, и плыли внизъ по теченію. Такимъ образомъ, съ наблюдаемаго мѣста, ниже затора, задерживавшаго движеніе верхового льда, начинался самостоятельный мѣстный ледоходъ изъ рыхлаго льда, поднимавшагося со дна рѣки, съ глубины 2 саженъ, преимущественно въ мѣстахъ, гдѣ, мнѣ извѣстно было, находились подводные камни, но тѣмъ не менѣе ныряніе со дна льдинъ наблюдалось по всей ширинѣ рѣки. Сѣвъ въ лодку, чтобы ближе ознакомиться съ удивительнымъ явленіемъ, которое указывало на какія-то таинственныя неизвѣстныя явленія природы, которыя поддались въ данномъ случаѣ наблюденію случайно, вслѣдствіе образовавшагося вверху поверхностнаго затора льда, я любовался окружавшимъ меня зрѣлищемъ нырявшихъ кругомъ со дна льдинъ, пока громадная, выскочившая около лодки, глыба рыхлаго льда не ударила въ бортъ лодки съ такой силой, что сильно на-

кренила ее, и мнѣ казалось, что глыба эта могла бы даже совсѣмъ опрокинуть лодку, приподнявъ ее надъ водой, если бы ударъ пришелся подъ срединой лодки.

Изъ верхней части этой рыхлой ледяной глыбы, которую пришлось наблюдать вплотную, какъ изъ губки, быстро вытекала вода, и вершина ея сглаживалась и бѣлѣла, осѣдая. Послѣ удара о бортъ лодки, глыба быстро развалилась пополамъ, но при этомъ мнѣ удалось схватить съ лодки и сохранить гладкій камень голышъ, чернаго цвѣта, который, безъ признаковъ льда на немъ, катился по наклонной сторонѣ переворачивавшейся на бокъ глыбы льда и готовъ былъ упасть въ воду, представляя доказательство, что онъ вмѣстѣ съ рыхлой глыбой льда поднялся со дна рѣки.

Усмотрѣвъ нѣкоторую опасность для гребца и себя отъ поднимавшагося со дна рѣки ледохода, я продолжалъ наблюденія, уже выйдя на берегъ.

Всплывавшія на поверхность полужидкія глыбы губчатаго льда, глубоко сидя въ водѣ, выставляли изъ воды лишь побѣлѣвшія и постепенно на небольшомъ морозѣ твердѣвшія вершины свои, которыя издали казались обыкновенными льдинами плотнаго поверхностнаго льда, какъ будто-бы только-что покрытыми свѣжимъ, блестѣвшимъ на солнцѣ, бѣлымъ снѣгомъ, какимъ издали представлялись сцѣпившіяся въ хаотическомъ безпорядкѣ мельчайшія ледяныя пластинки, составлявшія изъ себя губчатую массу глыбъ, по истеченіи изъ ихъ надводной части воды.

Такимъ образомъ на глазахъ наблюдавшихъ лицъ начался въ нижней части р. Свири самостоятельный мѣстный ледоходъ, при задержкѣ въ заторѣ верхового льда. При этомъ ясно было, что льдины всплывали не изъ-подъ затора, такъ какъ явленіе наблюдалось и далеко внизъ отъ затора, насколько только могъ охватить глазъ при наблюденіи съ высокаго берега, а не только вблизи затора.

Необходимо при этомъ отмѣтить, что происходившій предъ тѣмъ съ верхнихъ частей р. Свири ледоходъ наступилъ при отсутствіи снѣга по берегамъ и при отсутствіи сколько-нибудь значительныхъ „забереговъ“ льда на всемъ 200 верстномъ протяженіи рѣки. Ледоходъ съ порожистой части р. Свири (начинающейся въ разстояніи около 14 верстъ выше г. Лодейнаго Поля), по полученнымъ мною телеграфнымъ свѣдѣніямъ, начался въ то время, когда сплошной ледоходъ въ истокахъ р. Свири изъ Онежскаго озера еще не наступалъ. Конечно, если въ моментъ наблюденія поверхностный

ледоходъ случайно не остановился бы въ колѣнѣ рѣки, въ заторѣ, выше г. Лодейнаго Поля, то указанное явленіе, среди массы другихъ льдинъ, несущихся по рѣкѣ, осталось-бы незамѣченнымъ, и именно этимъ обычнымъ обстоятельствомъ вѣроятно объясняется вообще отсутствіе знакомства съ такого рода явленіями дѣятелей по водянымъ путямъ.

Въ моментъ наблюденія и все время потомъ меня занимала мысль о причинахъ поднятія со дна большихъ глыбъ льда при солнечномъ свѣтѣ и слабомъ морозѣ, который не могъ способствовать столь быстрому на днѣ рѣки наростанію льда, чтобы глыбы этого рыхлаго льда, вслѣдствіе одной только силы плавучести своей, преодолѣвшей силу сцѣпленія съ дномъ, вдругъ получили стремленіе всплывать со дна рѣки на поверхность.

Только теперь, въ моментъ составленія этой статьи, получивъ изъ Америки отъ профессора Barnes'а свѣдѣнія объ установленномъ имъ фактѣ всплыванія доннаго льда отъ дѣйствія не только теплой погоды, но и отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей въ морозную погоду на дно рѣки и массу воды въ рѣкѣ, причемъ достаточно повышенія температуры воды отъ дѣйствія поглощаемыхъ водой солнечныхъ лучей на нѣсколько тысячныхъ долей одного градуса, чтобы донный ледъ потерялъ сцѣпленіе съ дномъ, явленіе это разъяснилось. Столь точныхъ измѣреній колебанія температуры воды въ рѣкѣ ранѣе никѣмъ не производилось, хотя въ нѣкоторыхъ случаяхъ нагрѣваніе дна предполагалось.

Наблюденіе это ясно засвидѣтельствовало существенную связь явленій ледохода (въ спокойной глубокой части р. Свири) съ образованіемъ на днѣ этой рѣки рыхлаго губчатаго льда, хотя о причинахъ образованія такого рода льда и степени участія его въ ледоходѣ на рѣчныхъ путяхъ Европейской Россіи ничего не было извѣстно.

На слѣдующій день утромъ 5 ноября мнѣ пришлось быть свидѣтелемъ другого неизвѣстнаго по своей сущности явленія, которое тѣмъ не менѣе, на основаніи наблюденій предшествовавшаго дня, я уже отчасти ожидалъ.

Вслѣдствіе слегка замерзшей, за ночь, поверхности ледяного затора въ колѣнѣ рѣки, промежутки открытой воды между скопившимися въ заторѣ льдинами затянуло пленкой прозрачнаго голубого льда, поверхностнаго образованіи. Пробираясь, съ нѣкоторою опасностью провалиться, по доскамъ, положеннымъ на образовавшійся за ночь ледяной покровъ, я рѣшилъ изслѣдовать со-

ставъ ледяного подводнаго затора, стѣснявшаго живое сѣченіе и вызывавшаго сильный подъемъ воды выше затора. Какъ оказалось, дѣйствительно наблюденіемъ необходимо было торопиться: отъ подъема воды заторъ льда въ тотъ же день вскорѣ прорвался.

Поверхность затора вырисовывалась въ видѣ округленныхъ большихъ бѣлыхъ пятенъ, какъ бы вкрапленныхъ въ синеву, образовавшагося въ промежуткахъ, между бѣлыми пятнами, поверхностнаго плиточнаго льда, сковавшаго въ одно цѣлое верхушки всѣхъ льдинъ, составлявшихъ заторъ.

Лежа на доскахъ, чрезъ голубую пленку прозрачнаго льда, ясно видно было все подводное строеніе затора льда. Оказалось, что заторъ состоитъ изъ глыбъ того именно рода губчатаго льда, который наканунѣ наблюдался всплывавшимъ со дна рѣки.

Бѣлыя пятна, казавшіяся вкрапленными въ голубой ледъ, составляли верхнія надводныя, обратившіяся въ плотный ледъ, части льдинъ доннаго образованія, противоположныя нижнія оконечности которыхъ, въ видѣ глыбъ самыхъ разнообразныхъ, неправильныхъ формъ губчатаго льда, даже въ видѣ обращеннаго вершиной къ низу конуса, углублялись въ рѣку иногда свыше двухъ аршинъ, имѣя въ общемъ видъ сѣровато-свинцовыхъ, какъ бы разорванныхъ кучковатыхъ облаковъ. Въ заполненныхъ водой промежуткахъ, между обращенными книзу уступами рыхлаго льда, составлявшими продолженіе поверхностныхъ льдинъ, вертѣлись, подымались и вновь опускалась въ глубину ледяныя губки, какъ будто оторванныя отъ подводныхъ выступовъ рыхлаго льда. Вихреобразное движеніе струй воды въ такихъ промежуткахъ было замѣтно также и по быстрому перемѣщенію снизу вверхъ, вбокъ и внизъ крупныхъ песчинокъ, видимо поднимавшихся струями воды со дна рѣки.

Такимъ образомъ выяснился и составъ подводнаго затора льда, въ періодъ сплошного по рѣкѣ ледохода, который оказался состоящимъ не изъ плотныхъ льдинъ, а сплошь изъ пропитанныхъ водой массъ рыхлаго губчатаго льда. Обстоятельство это настолько ново и необычно, что въ немъ продолжаютъ сомнѣваться даже извѣстные практики воднаго дѣла, хотя подобное же строеніе заторовъ подтверждено и изысканіями на р. Невѣ въ 1903 году.

Наблюденныя явленія побудили меня разобраться въ научной литературѣ, разсѣянной въ разныхъ изданіяхъ, касавшейся случаевъ образованія рыхлаго доннаго льда въ нѣкоторыхъ рѣкахъ Сибири,

Западной Европы и Америки, что оказалось возможнымъ сдѣлать только благодаря трудамъ покойной матери моей Е. А. Владиміровой, сдѣлавшей выписки изъ многихъ спеціальныхъ и рѣдкихъ изданій на французскомъ и русскомъ языкахъ, хранящихся въ С.-Петербургѣ въ библіотекѣ Академіи наукъ и въ Публичной библіотекѣ.

При этомъ выяснилось, что описанія явленій, подобныхъ наблюденнымъ около г. Лодейнаго Поля, по отношенію къ образованію ледохода, въ литературѣ совсѣмъ не имѣлось, а равно не было найдено указаній, что причиной подводныхъ заторовъ могутъ быть скопленія рыхлаго льда, какъ-то наблюдалось на р. Свири.

Такимъ образомъ пришлось ознакомиться съ хранившимся въ библіотекѣ Академіи наукъ трудами замѣчательнаго изслѣдователя и философа Араго, которые были переведены мною на русскій языкъ, и съ развитіемъ его идей, по отношенію научнаго объясненія явленій образованія губчатаго доннаго льда, выраженныхъ въ замѣчательно ясно изложенной теоріи образованія доннаго льда Гей-Люссакомъ, которая послѣ произведенныхъ добавочныхъ опытовъ и наблюденій какъ на р. Свири, такъ и притокѣ ея р. Каномѣ принята была мною за наиболѣе достовѣрное объясненіе явленій образованія рыхлаго доннаго льда, въ ожиданіи дальнѣйшей провѣрки ея на практитѣ. Эти теоріи въ технической литературѣ воднаго дѣла никогда не обсуждались.

О дополнительныхъ наблюденіяхъ, которыя, по существу своему, были весьма скромны, такъ какъ спеціально на производство наблюденій и изслѣдованій средствъ у меня не имѣлось, позволю себѣ упомянуть, что онѣ, вмѣстѣ съ собранными весьма интересными фактами образованія рыхлаго доннаго льда на р. Ангарѣ въ Сибири, гдѣ, вслѣдствіе большихъ холодовъ, скорости теченія и замѣчательной прозрачности воды, эти явленія особенно грандіозны при обильномъ образованіи ледохода отъ всплыванія доннаго льда (который сибиряками называется „шугой“), а равно данныя и о другихъ случаяхъ наблюденій состава и образованія доннаго льда, вмѣстѣ съ теоріями Араго, Гей-Люссака и съ фактами затрудненій отъ образованія доннаго льда при устройствѣ перемычекъ, дѣйствіи шлюзовъ и т. п., приведены въ брошюрѣ моей 1904 г.—„Объ образованіи льда на днѣ рѣкѣ и явленій ледохода и заторовъ отъ всплыванія доннаго льда“, въ которой сдѣланъ былъ опытъ показать, что процессы замерзанія водъ текучихъ совершенно отличны отъ процессовъ замерзанія водъ стоячихъ.

Анализировавъ всѣ собранные матеріалы и наблюденія, совмѣстно съ полученными нами отъ начальника дистанціи въ г. Шлиссельбургѣ свѣдѣніями о существованіи по показаніямъ рыбаковъ и на р. Невѣ явленій образованій рыхлаго доннаго льда, именуемаго ими терминомъ „свинъ", подобно тому какъ донный ледъ на р. Свири, забивающій мережки рыбаковъ и вмѣстѣ съ ними всплывающій на поверхность, называется „жужка", или „юда", а также получивъ свѣдѣнія, что отъ всплыванія рыхлаго доннаго льда замѣчаются иногда случаи слабаго мѣстнаго ледохода по р. Невѣ *), безъ участія ладожскаго льда, я пришелъ къ заключенію, что разсматриваемыя явленія представляютъ въ сущности своей процессы не частнаго, а общаго характера и значенія для рѣкъ не только сибирскихъ, но и для рѣкъ Европейской Россіи и вообще для всѣхъ рѣкъ, которыя въ зимнее время замерзаютъ, о чемъ, а равно и о предполагавшемся мною участіи рыхлаго губчатаго доннаго льда въ образованіи зимнихъ заторовъ льда на р. Невѣ, вмѣстѣ съ результатами наблюденій на р. Свири высказано было мною начальнику Петербургскаго округа п. с. профессору В. Е. Тимонову, вслѣдствіе послѣдовавшаго образованія въ С.-Петербургѣ особой комиссіи для всесторонняго опредѣленія причинъ, вызывающихъ въ зимнее время наводненія на р. Невѣ.

По независящимъ отъ меня причинамъ, письменныя работы мои и выводы относительно наблюденныхъ явленій, связанныхъ съ всплываніемъ рыхлаго доннаго льда, замедлились и напечатаны были лишь въ 1904 г. въ трудахъ Съѣзда русскихъ дѣятелей по воднымъ путямъ, въ С.-Петербургѣ только передъ докладомъ, сдѣланнымъ мною Съѣзду объ описанныхъ явленіяхъ и выводахъ.

Произведенными, по порученію правленія С.-Петербургскаго округа путей сообщенія, изслѣдованіями Инженера М. Ф. Ціонглинскаго состава ледяного покрова р. Невы въ 1903 г. выяснилось и подтвердилось, что въ составѣ подводныхъ заторовъ льда на р. Невѣ, какъ и на Свири существенную роль играетъ рыхлый, губчатый ледъ, который въ данномъ случаѣ названъ былъ „шорохомъ". Для р. Невы явленіе оказалось даже болѣе значительнымъ, чѣмъ мною предполагалось, такъ какъ въ заторахъ были обнаружены залежи шороха толщиною отъ 1 до $3^1/_2$

*) „Условія замерзанія р. Невы", брошюра Л. Владимірова 1904 г.

саженъ *), занимавшія, вмѣстѣ съ льдомъ противъ церкви Бориса и Глѣба у Калашниковской набережной, въ С.-Петербургѣ, 50% живого сѣченія рѣки. По даннымъ изслѣдованій 1903 г. на р. Невѣ **) выше затора, вода всю зиму, до начала весенняго ледохода, держалась на уровнѣ выше ординара. При производствѣ промѣровъ ледяного покрова и глубины рѣки выяснилось, что начиная отъ Невскаго судостроительнаго завода до Смольнаго монастыря, т. е. на протяженіи 6 верстъ, подъ ледянымъ покровомъ рѣки, толщина котораго въ среднемъ составляла отъ 1 до $1^1/_2$ аршинъ, находилась клейкая, густая, кашеобразная масса, названная „шорохомъ". Шорохъ этотъ былъ настолько плотенъ, что пробивать его деревяннымъ шестомъ оказалось довольно затруднительнымъ, и пришлось заготовить спеціальную оковку шеста въ видѣ шпиля конической формы, діаметръ котораго по верху доходилъ до 4 вершковъ. Когда шорохъ былъ пробитъ шестомъ, онъ настолько быстро опять сплочивался, что пудовая гиря, опущенная вслѣдъ за вынутьемъ шеста, застревала въ шорохѣ и не могла его пройти насквозь. Въ шорохѣ попадались иногда и отдѣльныя льдины, которыя приходилось или отталкивать, или пробивать шестами. Толщина шороха опредѣлялась по вынутіи изъ лунки шеста. За конецъ шороха принималось то мѣсто, гдѣ верхняя горизонтальная палка оковки задѣвала за шорохъ и представляла препятствіе вытаскиванію шеста. На всемъ вышеупомянутомъ протяженіи рѣки шорохъ, какъ говорилось выше, залегалъ сплошною массою отъ 1 до $3^1/_2$ саженъ толщины. Выше Невскаго судостроительнаго завода количество шороха все уменьшалось до Фарфороваго завода, гдѣ вода оказалась отъ шороха совершенно свободной. Накопленіе шороха въ общемъ было у крутого изгиба рѣки, именно у колѣна, образуемаго рѣкою у Смольнаго монастыря.

Далѣе вверхъ по теченію, сравнительно незначительное скопленіе шороха замѣчено была у лѣваго берега рѣки въ Кривомъ колѣнѣ, въ 5 верстахъ ниже устья р. Ижоры.

Вторичными произведенными М. Ф. Ціонглинскимъ изслѣдованіями, на отпущенныя министерствомъ путей сообщенія сред-

---

*) Повидимому, судя по стариннымъ чертежамъ, такого же рода строеніе затора на р. Невѣ было найдено еще въ срединѣ прошлаго столѣтія, но описательнаго текста къ чертежу не сохранилось и о существованіи такого чертежа сдѣлалъ указаніе инженеръ С. П. Максимовъ.

**) „О наблюденіяхъ надъ замерзаніемъ р. Невы и изслѣдованіяхъ заторовъ на ней", М. Ціонглинскій 1905 г.

ства, были установлены весьма интересные факты, вполнѣ аналогичные съ тѣми, которые наблюдены были на р. Свири, относительно образованія ледохода, однообразія температуры воды и состава затора именно изъ рыхлаго льда.

14-го декабря съ горы лѣваго берега рѣки наблюдалось, что каждую минуту въ разныхъ мѣстахъ рѣки, такъ далеко, какъ только глазъ могъ видѣть, выплывали со дна разной величины куски доннаго льда. Нѣкоторыя глыбы, по величинѣ своей, доходили до нѣсколькихъ кубическихъ саженъ и выскакивали на поверхность съ такою силою и съ такимъ шумомъ, что издали обращали на себя вниманіе. Льдины поднимались на $^1/_2$ аршина выше поверхности воды, при чемъ въ моментъ выскакиванія онѣ были желтоватаго цвѣта воды, но затѣмъ вода, пропитавшая насквозь льдину, стекала немедленно внизъ; льдина, въ части своей надъ водой, принимала видъ бѣлой снѣжной массы, послѣ нѣсколькихъ колебаній приходила въ равновѣсіе и уплывала внизъ (при средней температурѣ воздуха—6,39°). Ледоходъ занималъ всю ширину рѣки. 27-го декабря невскіе пороги покрылись льдомъ. Такимъ образомъ, въ періодъ замерзанія р. Невы, наравнѣ съ ладожскимъ льдомъ, замѣчалось обильное образованіе и всплываніе доннаго льда, образующагося въ самомъ руслѣ, при мягкомъ незамерзшемъ грунтѣ, при пониженіи термпературы воды до 0°. Указывая на колебанія термометра на нѣсколько сотыхъ выше и ниже нуля, М. Ф. Ціонглинскій высказываетъ, что, соотвѣтственно относительной точности употреблявшихся въ дѣло ртутныхъ термометровъ, температура воды при образованіи доннаго льда была равна именно 0°, при чемъ температура воздуха была—6° и ниже.

Наблюденія, производимыя въ теченіе 2½ мѣсяцевъ, показали, что температура воды въ данный моментъ времени и въ опредѣленномъ сѣченіи рѣки во всѣхъ слояхъ одинакова. Между прочимъ, канатъ, длиною 25 саженъ, къ которому была прикрѣплена корзина съ привязаннымъ къ ней камнемъ, опущенная на глубокомъ мѣстѣ на дно рѣки, всплылъ вмѣстѣ съ корзиной и камнемъ на поверхность воды, причемъ канатъ представлялъ изъ себя ледяную дорожку, вродѣ дамскаго боа, будучи облѣпленъ ледяными кристаллами по всей своей длинѣ. Такого же вида кристаллами была облѣплена и вся корзина.

2-го декабря ледоходъ изъ Ладожскаго озера совершенно прекратился и выше Ивановскихъ пороговъ, на 12-й верстѣ отъ Шлиссельбурга, установился ледоставъ.

Наблюденія производились у села Ивановскаго въ теченіе всего декабря. 13-го декабря при средней температурѣ воздуха—5°,8 С. замѣчено, что всѣ сваи, все время бывшія въ водѣ, покрылись довольно толстымъ слоемъ льда, отчасти видны были въ водѣ свѣтлыя полосы и пятна. При ощупываніи дна багромъ легко было чувствовать, что оно покрыто слоемъ доннаго льда; куски льда удавалось оторвать багромъ отъ дна, и тогда они съ шумомъ поднимались на поверхность рѣки.

Донный ледъ образовывался, какъ въ быстрыхъ мѣстахъ (Ивановскіе пороги), такъ и въ мѣстахъ съ среднею скоростью теченія и при совсѣмъ малой скорости (въ заводи ниже Ивановскихъ пороговъ).

Такимъ образомъ, при обсужденіи Съѣздомъ русскихъ дѣятелей по водянымъ путямъ представленныхъ докладовъ объ условіяхъ, сопровождающихъ замерзаніе рр. Свири и Невы, уже въ январѣ 1904 г. имѣлось на Съѣздѣ косвенное подтвержденіе общаго выставленнаго мною положенія, что „донный рыхлый губчатый ледъ долженъ встрѣчаться на всѣхъ вообще рѣкахъ, которыя въ зимнее время замерзаютъ, являясь существеннымъ и вѣроятно главнымъ факторомъ въ процессахъ ледохода, ледостава и въ образованіи заторовъ льда.

Слѣдовательно, отвергалось общераспространенное понятіе о томъ, что главную роль въ явленіяхъ ледохода и ледостава играютъ льдины плотнаго льда, отрываемыя теченіемъ отъ такъ называемыхъ „забереговъ“. Даже выпаденіе снѣжныхъ осадковъ, въ большинствѣ случаевъ, представляется въ замерзаніи рѣкъ факторомъ второстепеннымъ, обыкновенно сопровождаемымъ повышеніемъ температуры атмосферы. Можно утверждать, что рѣки, безъ участія рыхлаго льда, въ большинствѣ случаевъ по линіи главнаго фарватера совсѣмъ бы не замерзали, и только смерзаніе рыхлаго льда на поверхности рѣки влечетъ за собой сплошной рѣчной ледоставъ.

Представленныя мною Съѣзду и Императорскому русскому географическому обществу въ январѣ и февралѣ 1904 г. положенія о сущности предполагаемыхъ процессовъ замерзанія рѣчныхъ путей, выдѣляя средства борьбы съ вредными скопленіями рыхлаго льда на днѣ, или въ случаѣ сцѣпленія его съ поверхностнымъ ледянымъ покровомъ рѣкъ, а равно и пожеланіе о выставленіи показаній температуры воды въ осеннее время на всѣхъ болѣе или менѣе значительныхъ пристаняхъ, для свѣдѣній лицъ, пользующихся вод-

ными путями, въ отдѣльное положеніе, заключались въ слѣдующемъ:

1) На рѣкахъ въ Европейской и Азіатской Россіи, въ Зап. Европѣ и Америкѣ, въ осеннее время, при пониженіи температуры воды до 0°, и независимо отъ температуры почвы, наблюдается образованіе подводнаго, мягкаго губчатаго льда вокругъ камней и другихъ предметовъ, на днѣ и между дномъ и поверхностью рѣки расположенныхъ.

2) Общность явленій свидѣтельствуетъ, что образованіе губчатаго доннаго льда свойственно всѣмъ рѣкамъ, которыя въ зимнее время замерзаютъ.

3) Донный ледъ, отлагаясь на днѣ и увеличиваясь при морозахъ въ объемѣ, вызываетъ наиболѣе необычное и неожиданное повышеніе уровней рѣкъ, на что необходимо обратить особенное вниманіе при устройствѣ перемычекъ, плотинъ и вообще при работахъ гидротехническихъ.

4) Всплывая и отдѣляясь отъ дна, донный ледъ при морозахъ крѣпнетъ съ поверхности и образуетъ мѣстный рѣчной ледоходъ изъ глыбъ ноздреватаго льда самыхъ разнообразныхъ и неправильныхъ формъ, которыя сглаживаются у поверхности, вслѣдствіе наростанія, по окружности кромокъ донныхъ глыбъ, льда плиточнаго образованія.

5) Въ закрытыхъ поверхностнымъ льдомъ частяхъ рѣки образованіе доннаго льда прекращается, но прибывающій съ верхнихъ частей рѣки донный ледъ, цѣпляясь за неровные подводные выступы льдинъ, заключающихся въ поверхностномъ покровѣ рѣки, образуетъ постепенныя, иногда весьма значительныя, загроможденія русла рѣки, т. е. „заторы“ или „зажоры“, вызывающіе наводненія, обыкновенно совпадающія съ первоначальной фазой ледостава.

6) Всплывая, донный ледъ переноситъ вмѣстѣ съ собою не только частицы грунта, но и камни, иногда измѣняя тѣмъ характеръ русла рѣки.

7) Донный ледъ, повидимому, образуется отъ смерзанія между собою и съ посторонними шероховатыми предметами мельчайшихъ ледяныхъ частицъ, имѣющихъ температуру ниже точки замерзанія, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и отъ пузырьковъ морознаго воздуха, увлекаемыхъ силой водотеченія съ поверхности на глубину. Этому обстоятельству содѣйствуетъ однообразная температура воды въ рѣкѣ, какъ на глубинѣ, такъ и вблизи поверхности, составля-

ющая особенность въ охлажденіи водъ текучихъ, сравнительно съ охлажденіемъ водъ стоячихъ.

8) Донный ледъ въ разныхъ мѣстностяхъ именуется различно, напр. „юда“ и „жушка“ на р. Свири, „свинъ“ на р. Невѣ, „осенецъ“ на р. Бодайбо, „шуга“ на р. Ангарѣ и т. п. Ледъ этотъ, пока на морозѣ еще не окрѣпъ, именуется также общимъ названіемъ „сала“, хотя названіе это дается и сбившимся въ водѣ кучамъ снѣга, на которыя издали, по внѣшнему виду своему, комья даннаго льда весьма похожи.

Мѣры практическія, въ общемъ, сводятся къ слѣдующему:

Противодѣйствіе скопленію доннаго льда въ опредѣленныхъ участкахъ пути можетъ заключаться въ мѣропріятіяхъ, способствующихъ свободному проплаву доннаго льда внизъ по теченію, для чего можетъ быть образованъ и поддержанъ, при помощи ледоколовъ, или инымъ путемъ, при началѣ ледостава каналъ въ ледяномъ покровѣ рѣки, въ мѣстахъ фарватера, подверженныхъ образованію заторовъ (какими естественно представляются кривыя колѣна рѣки и плесы, хотя бы и широкіе, но лежащіе при выходѣ изъ пороговъ, примѣромъ чему можетъ служить р. Свирь, т. е. мѣста съ переломомъ теченія съ быстраго на тихое, а также и мѣста съуженія русла рѣки), которые образуются тамъ, гдѣ, въ зависимости отъ скоростей теченія при ледоходѣ, прибыль льда въ единицу времени превышаетъ убыль его отъ проплава внизъ, Слѣдовательно, въ нѣкоторыхъ случаяхъ полезно будетъ произвести спрямленіе русла рѣки.

Предупрежденіе образованія доннаго льда, въ отмѣченныхъ мѣстахъ его образованія, возможно удаленіемъ со дна рѣки камней и другихъ предметовъ, возвышающихся надъ уровнемъ дна, включая сюда водоросли.

Императорское русское географическое общество, въ соединенномъ засѣданіи отдѣловъ по географіи физической и математической, выслушавъ 13 февраля 1904 г. о наблюденіяхъ моихъ на рр. Свири и Каномѣ, въ связи съ изложенными выше общими теоретическими выводами, съ большимъ сочувствіемъ отнеслось къ мысли о необходимости совмѣстной работы всѣхъ вообще лицъ, интересующихся вопросами образованія доннаго льда, въ виду особой важности практическихъ выводовъ, которые могутъ послѣдовать, такъ какъ разрѣшеніе задачи во всемъ ея объемѣ для отдѣльныхъ лицъ невыполнимо.

Собраніе отдѣловъ географич. общ., въ томъ же засѣданіи, рѣ-

шило подвергнуть вопросъ объ образованіи доннаго льда серьезному изученію, и подъ предсѣдательствомъ члена Импер. Академіи наукъ Ѳ. Н. Чернышева при участіи директора Главной Николаевской физической обсерваторіи М. А. Рыкачева и др. лицъ *) образовалось особое совѣщаніе, которое, принявъ во вниманіе и указанія, какія были сдѣланы 20 апрѣля 1904 г. М. Ф. Ціонглинскимъ, въ его сообщеніи по вопросу о донномъ льдѣ, рѣшило остановиться на первое, по крайней мѣрѣ, время на изученіи географическаго распространенія этого явленія.

Въ соотвѣтствіи съ такимъ заключеніемъ, была выработана краткая инструкція и вопросный листокъ, обращавшіе вниманіе лишь на такія стороны явленія (по отчету комиссіи за 1904 г.), какія могли быть освѣщены едва грамотнымъ, но толковымъ человѣкомъ, безъ помощи какихъ бы то ни было инструментовъ. На первое время, отчасти вслѣдствіе отсутствія у общества контингента надежныхъ корреспондентовъ, отчасти же вслѣдствіе неудовлетворительности имѣющихся типовъ термометровъ, совѣщаніе рѣшило отказаться отъ температурныхъ наблюденій надъ водою, какъ у поверхности, такъ и у дна.

Вся разсылка въ 1904 г. опросныхъ листковъ выразилась въ 6145 экземплярахъ корреспондентамъ Главной физической обсерваторіи, въ 6 округовъ путей сообщенія и въ различныя ученыя общества.

Результаты отвѣтовъ на вопросные листки подтвердили предположенія мои о территоріальномъ распространеніи явленій доннаго льда въ рѣкахъ на всемъ протяженіи Европейской Россіи, такъ какъ донный ледъ наблюдался не только на югѣ Россіи, но и на Кавказѣ, т. е. вездѣ, гдѣ рѣки замерзаютъ.

При этомъ выяснилось, что донный ледъ **) имѣетъ въ разныхъ мѣстностяхъ Россіи совершенно отличныя другъ отъ друга именованія.

*) А. В. Вознесенскаго, Л. Л. Владимірова, П. Е. Воларовича, А. П. Герасимова, Н. Ф. Погребова, П. И. Преображенскаго, А. Ю. Саковича, М. Ф. Ціонглинскаго, А. М. Шенрока, Ю. М. Шокальскаго, І. Б. Шпиндлера, Э. В. Штеллинга и Л. А. Ячевскаго.

**) Въ объяснительной запискѣ, разосланной Географич. обществомъ, донный ледъ обозначается: „сѣрой губчатой массой, состоящей изъ болѣе или менѣе значительныхъ пластинокъ льда, сросшихся между собою въ самыхъ разнообразныхъ положеніяхъ“.

Такъ донный рыхлый ледъ именуется въ губерніяхъ:

Архангельской . . . . . „шугой“ или „саломъ“.
Виленской . . . . . „кра“ или по литовски „изнасъ“ и „шерешь„ или „шарошь“.
Витебской . . . . . „донницей“, „снѣжницей“ и „шерошницей“
Владимірской . . . . . „сало“ и „шорохъ“
Вологодской . . . . . „жуга“, „куфта“, „шуга“, „шуя“ или „сало“.
Волынской . . . . . „крига“ и „шерошъ“.
Вятской . . . . . „шуга“, „шуя“, „нижняя шуя“ и „земляная чешуя“.
Гродненской . . . . . „шерошь“ и „болваны“.
Екатеринославской . . . . „шерехъ“, „вотха“ или „витха“ „кисель“, „подпона“ или „шерехъ“ и „цындра“.
Казанской . . . . . „жужка“.
Кіевской . . . . . „шерехъ“.
Костромской . . . . . „салда“.
Кубанской области . . . . „шерешь“.
Курляндской . . . . . „sehris“ (латышское).
Минской . . . . . „шерошь“, „шароша“.
Московской . . . . . „донное сало“.
Нижегородской . . . . . „жужга“, „сарга“ и „шорохъ“.
Новгородской . . . . . „сязя“.
Области войска Донскаго . . „ширешь“, „сторъ“.
Олонецкой . . . . . „жушка“, „юда“.
Пермской . . . . . „шуга“, „шуя“.
Петербургской . . . . . „свинъ“ и „сало“, „стень“ или „шухъ“ „шакша“, „шуга“ или „шерохъ“, „шернь“.
Полтавской . . . . . „снѣжница“, „кисель“, „шерехъ“.
Псковской . . . . . „шерошь“.
Рязанской . . . . . „шорошь“.
Тверской . . . . . „шалыга“.
Терской . . . . . „арсъ-донъ“.
Черниговской . . . . . „яснецъ“.
Ярославской . . . . . „смержа“, „шаронъ“, „шернъ“,
Эриванской . . . . . „сливки“.

Кромѣ того во всѣхъ губерніяхъ весьма распространено названіе „сало". Между прочимъ, въ виду отсутствія увѣренности, образуется-ли донный ледъ въ озерахъ, что по природѣ явленія оно допустимо только на незначительной глубинѣ (по мнѣнію комиссіи), то въ листкахъ заключался запросъ и объ озерахъ, но удовлетворительныхъ отвѣтовъ въ этомъ отношеніи, за исключеніемъ Ладожскаго озера *), не было получено, такъ какъ наблюдавшійся въ нѣкоторыхъ каналахъ и озерахъ донный ледъ легко могъ быть занесенъ туда впадающими и пересѣкающими эти пути рѣчками и ручьями, о наличіи которыхъ и разстояніи отъ мѣста наблюденія ничего въ вопросныхъ листкахъ не говорилось. Между тѣмъ мнѣ лично извѣстно,

*) Уроженецъ Новоладожскаго уѣзда, сынъ рыбака, А. Захаровъ, проживший на Ладожскомъ озерѣ, во всѣхъ его мѣстахъ, свыше 30 лѣтъ, сообщаетъ, что все озеро никогда не замерзаетъ. Мѣсто, гдѣ озеро не покрывается льдомъ, находится верстъ на 15 или 20 на сѣверъ отъ маяка Сухо, имѣетъ продолговатый видъ и вытянуто съ запада на востокъ верстъ на 40—50, при ширинѣ верстъ 10—15. На небѣ противъ этого мѣста всегда стоитъ темное пятно, которое хорошо видно днемъ и ночью. Донный ледъ и мелкій верховой одинаково называются „свиномъ" (рыбаки говорятъ—тяжелый, какъ „свинецъ"). Сначала осенью онъ появляется на каменистыхъ грядахъ и крупномъ песчаномъ грунтѣ, глубиною отъ аршина до трехъ и бываетъ разбросанъ очень рѣдко по дну и часто всплываетъ. Въ это время вода дѣлается мутною,— каждая губка свина увлекаетъ за собою песокъ и мелкій гравій. Когда свинъ лежитъ на днѣ, то кажется комкомъ снѣга, но всплывая онъ оказывается сложеннымъ изъ мелкихъ пластинокъ. Свинъ, увлекаетъ за собою все, находящееся на днѣ, напр. намокшія дрова, бревна, снасти, камни до 15 ф. и болѣе, желѣзо, болты, якоря и т. п., со всѣми этими предметами свинъ легко поднимается къ верхнему льду, гдѣ и примораживается. Свинъ бываетъ и на трехсаженной глубинѣ, но чаще на каменистыхъ мѣстахъ. Глинистый грунтъ совсѣмъ не имѣетъ свина, хотя бы и на самомъ мѣстѣ. Весь всплывшій свинъ сноситъ вѣтромъ въ одно мѣсто, и тамъ онъ смерзается, образуя сплошную верховую льдину. Маякъ Сухо находится въ 23 верстахъ отъ южнаго берега, и всюду поднимается свинъ; если бы мелкое мѣсто было въ срединѣ озера, то г. Захаровъ вполнѣ увѣренъ, что и тамъ былъ бы свинъ. На песчаномъ грунтѣ онъ сплошнымъ слоемъ не ложится, а на каменистомъ растилается сплошнымъ ковромъ. Въ это время вода удивительно прозрачна, такъ какъ свинъ не даетъ подниматься никакой грязи. При морозѣ этотъ ледяной коверъ лежитъ недѣли двѣ и три, но при оттепели, или большомъ снѣгѣ, тотчасъ всплываетъ. На мелкихъ мѣстахъ свинъ наростаетъ вершковъ на 8, и чѣмъ глубже, тѣмъ тоньше; гдѣ болѣе трехъ саженъ, его только можно видѣть всплывающимъ тонкими пластинками на подобіе слюды со сквозными дырочками. Въ сѣверной части озера свина совсѣмъ не бываетъ, такъ какъ тамъ глубоко. Захарову приходилось ставить сѣти зимой (подъ льдомъ) въ разстояніи 1—2 верстъ отъ полаго мѣста. Если подуетъ сильный вѣтеръ отъ полыньи, то въ сѣти наберется столько мелкихъ иголочекъ, что сѣти поднимаются къ верхнему льду. Откуда берется этотъ свинъ, объяснить трудно, но при тихой погодѣ и другомъ вѣтрѣ его не бываетъ. Осенью куски всплывающаго свина величиной бываютъ до кубическаго полуаршина.

что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ Приладожскихъ и Онежскаго обводныхъ каналовъ существуетъ иногда такое теченіе, особенно послѣ вѣтровъ, которое можетъ даже заворачивать суда поперегъ каналовъ. На Онежскомъ каналѣ, вблизи р. Вытегры, прилегающая часть канала носитъ даже названіе „Смолянухи", мы думаемъ именно потому, что туда заносится много „шуги" изъ ручьевъ и потому это мѣсто ранѣе другихъ мѣстъ канала замерзаетъ, т. е. какъ-бы „смолится" отъ вяжущей массы рыхлаго льда, который впрочемъ можетъ образовываться и на днѣ самого канала въ мѣстахъ, гдѣ наблюдается теченіе.

Тѣмъ не менѣе, послѣ изученія и сопоставленія спеціальныхъ и весьма интересныхъ въ зиму 1905 - 1906 года на Ладожскомъ озерѣ наблюденій г. Лозовскаго въ прибрежной полосѣ, подтверждающаго фактъ присутствія доннаго рыхлаго льда на нѣкоторой глубинѣ до 4 саженъ, данныя о которыхъ любезно сообщилъ Ю. М. Шокальскій, мнѣ кажется необходимо заключить (по ознакомленіи съ температурными наблюденіями), что донный ледъ образуется, какъ и въ рѣкахъ, послѣ пониженія температуры массы воды въ озерѣ до точки замерзанія, отъ перемѣшиванія всѣхъ частицъ воды отъ поверхности до дна, на нѣкоторой сравнительно небольшой глубинѣ, зависящей, отъ характера волненія озера. Въ этомъ случаѣ волненіе озера и происходящіе отъ того восходящіе и нисходящіе токи воды совершаютъ тотъже процессъ перемѣшиванія слоевъ воды, какъ мы это видѣли на теченіи рѣкъ, и такимъ образомъ въ большомъ водоемѣ, который не представляетъ изъ себя стоячей воды (до опредѣляемой силой волненія глубины), можетъ получиться равномѣрная температура воды равная нулю, что и отмѣчено въ наблюденіяхъ до глубины 30 футъ.

Тѣмъ же процессомъ увлеченія съ поверхности въ глубину ледяныхъ частицъ, механической силой волненія, по моему мнѣнію, объясняется наростаніе на озерѣ рыхлаго доннаго льда, особенно въ мѣстахъ, подверженныхъ прибою волнъ о грунтъ дна. На небольшихъ озерахъ и прудахъ, имѣющихъ незначительный водный объемъ, на которомъ не можетъ развиться глубокое волненіе, и которые быстро замерзаютъ, это явленіе можетъ быть неуловимо, по причинѣ практической незначительности своей.

Такимъ путемъ можетъ быть объяснено и образованіе въ полярныхъ моряхъ подводнаго рых-

лаго льда (Anchor ice), существованіе котораго давно извѣстно; напр., на берегахъ Ньюфаундлена большія массы наростаютъ на глубинѣ 60 — 70 футовъ. Также въ экспедиціи 1902 г. на суднѣ «Discovery» капитанъ Scott замѣтилъ, что снасти подъ водой покрываются кристаллами льда, но не могъ дать этому опредѣленное объясненіе. Температура воды какъ будто была немного ниже 0°. На одной дюймовой снасти такимъ образомъ наросъ кругомъ цилиндръ льда діаметромъ около фута, простиравшійся въ глубину до 30-36 футъ, постепенно утончаясь.

По удостовѣреніи изслѣдованіями р. Невы въ 1903 г., о которыхъ выше упоминалось, состава ледяныхъ заторовъ именно изъ рыхлаго льда въ районѣ С.-Петербурга и участія въ ледоходѣ на р. Невѣ собственно невскаго рыхлаго доннаго льда, въ настоящее время въ матеріалахъ по описанію русскихъ рѣкъ, изданія Управленія внутреннихъ водныхъ путей 1906 г., появилось относительно р. Невы новое изслѣдованіе бывшаго начальника Казанскаго округа п. с. инженера В. М. Лохтина подъ заглавіемъ «Ледяной наносъ и зимніе заторы на р. Невѣ», въ которой авторъ указываетъ, что, не смотря на все богатство техническихъ изысканій на р. Невѣ въ 1903 г., вопросъ о причинахъ образованія доннаго льда и ледяныхъ заторовъ остался невыясненнымъ, и потому Управленіе внутр. водн. путей, воспользовавшись предпринятыми на р. Невѣ общими изслѣдованіями, поручило г. Лохтину войти вмѣстѣ съ тѣмъ въ ближайшее изученіе этого вопроса съ производствомъ наблюденій, которыя окажутся необходимыми, въ дополненіе къ уже имѣющимся даннымъ по отношенію къ невскому ледоходу.

Означенными новыми изслѣдованіями 1904-1905 гг. подтверждаются общія положенія, ранѣе выставленныя мною, для всѣхъ вообще рѣкъ, что:

а) температура воды въ р. Невѣ однообразна во всѣхъ слояхъ воды;

б) наблюдается образованіе подводнаго мягкаго льда вокругъ камней и другихъ предметовъ на днѣ и между дномъ и поверхностью рѣки;

в) часто на глазахъ выскакиваютъ со дна громадныя желтыя глыбы (10 декабря) и огромнѣйшія глыбы, какъ чудовища, выплываютъ изъ воды (15 января), что свидѣтельствуетъ объ участіи въ ледоходѣ на р. Невѣ доннаго льда, подобно тому, какъ это установлено наблюденіями въ 1903 г.,

г) съ установленіемъ ледостава образованіе рыхлаго доннаго льда, который именуется «ледянымъ наносомъ», прекращается.

Льдины плотнаго льда, опускаемыя съ грузомъ для опыта въ воду, на глубину, подъ ледяной покровъ, при наличіи сплошного ледостава растаивали, что, можетъ быть, объясняется приводимой мною въ брошюрѣ 1904 г. справкой изъ зимнихъ наблюденій Главной физической обсерваторіи, по которымъ оказывается, что температура воды въ р. Невѣ (при ледяномъ покровѣ) колеблется приблизительно отъ + 0,28° до + 0,06° Ц. Хотя эти данныя относятся къ 1873-1874 г., а современныхъ точныхъ измѣреній не имѣется, но ими все-таки приходится руководствоваться для времени слѣдующаго за невскимъ ледоставомъ, такъ какъ температурными наблюденіями, приводимыми въ изысканіяхъ 1904-1905 г., по заключенію ред. «Ежемѣсячнаго метеорологическаго бюллетеня" А. Шенрока *) (при Николаевской главной физической обсерваторіи) для точныхъ выводовъ пользоваться нельзя, вслѣдствіе замѣченной неточности непровѣренныхъ инструментовъ т. е. ртутныхъ термометровъ;

Опытами на рѣкѣ ясно подтверждено и доказано, что кристаллы льда, т. е. матеріалъ, изъ котораго наростаетъ донный ледъ въ рѣкѣ, приносятся изъ выше лежащихъ открытыхъ мѣстъ рѣки, гдѣ вода соприкасается съ морознымъ воздухомъ, чѣмъ, вѣроятно, объясняется и увеличеніе въ вѣсѣ льдинъ, опускаемыхъ для опыта въ глубину воды, когда выше имѣются еще полыя мѣста, не закрытыя поверхностнымъ льдомъ, откуда несется ледяной наносъ.

Но въ своихъ наблюденіяхъ В. М. Лохтинъ не отличаетъ матеріала, изъ котораго образуется донный ледъ, «Frazil ice», какъ говорятъ американскіе инженеры, отъ самого доннаго льда, т. е. льда закрѣпившагося на днѣ и затѣмъ примерзаніемъ отдѣльныхъ пластинокъ наростающаго на днѣ (Anchor-ice), и потому замѣняетъ выраженіе «донный ледъ» именованіемъ «ледяного наноса». Но американцы, послѣ наблюденій и борьбы съ явленіями отъ скопленій рыхлаго льда на р. Св. Лаврентія, о чемъ мы ниже сообщимъ, пришли къ заключенію, что, несмотря на однообразный составъ рыхлаго льда, наблюдаемаго въ заторахъ и на днѣ рѣкъ, необходимо различать оба понятія. Дѣйствительно, легко себѣ представить, что рыхлый ледъ, находясь на днѣ, вызываетъ одни послѣдствія: напр., внезапное образованіе ледохода, а рыхлый плывущій ледъ, къ которому слѣдуетъ причислить всѣ, въ массѣ, плывущіе въ водѣ ледяные кристаллы, вызываетъ другія послѣдствія:

*) Октябрь 1906 г., № 10.

напр., образованіе ледяныхъ заторовъ, прекращеніе движенія пароходовъ отъ засоренія воздушныхъ насосовъ, прекращеніе дѣйствія рѣчныхъ водопроводовъ отъ засоренія пріемныхъ трубъ и т. п.

Поэтому кажется необходимымъ теперь же условиться въ именованіи льда не по мѣсту его первоначальнаго образованія, такъ какъ въ рѣкѣ составныя части рыхлаго льда первоначально всегда образуются не тамъ, гдѣ мы его наблюдаемъ, а по мѣсту нахожденія. Этотъ способъ профессоръ Barnes рекомендуетъ и американцамъ для устраненія неопредѣленности понятій. Такимъ образомъ, плавучіе кристаллы постоянно, въ благопріятныхъ условіяхъ, скрѣпляющіеся между собою, и мягкія массы всплывшаго доннаго льда, мнѣ кажется, слѣдовало бы именовать общимъ русскимъ названіемъ «шуга», что будетъ соотвѣтствовать понятію «Frazil ice» *), а донный ледъ, прикрѣпленный къ дну, во всякомъ случаѣ слѣдуетъ именовать „доннымъ", прибавляя рыхлый ли онъ, или плотный, тѣмъ болѣе, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ современными физиками доказывается **), существуетъ большая степень вѣроятія образованія, иногда очень быстраго и кратковременнаго, на днѣ рѣки, въ періодъ ледообразованія, пленки плотнаго льда отъ лучеиспусканія теплоты отъ дна рѣки. Къ этой пленкѣ, являющейся въ такомъ случаѣ промежуточной между дномъ и рыхлымъ укрѣпившимся на днѣ льдомъ, немедленно примерзаютъ несущіеся на рѣкѣ, во всей ея массѣ, кристаллы льда, различающіеся въ своей формѣ лишь по физическимъ условіямъ теченія въ мѣстахъ ихъ образованія ***). Такимъ образомъ, въ зависимости отъ лучеиспусканія, для чего нужна ясная свѣтлая ночь, допускается явленіе невѣроятно быстраго, какъ бы внезапнаго наростанія на днѣ рѣкъ и ручьевъ цѣлыхъ массъ рыхлаго льда, при небольшомъ пониженіи температуры воздуха. Но эти массы, вслѣдствіе непрочности примерзанія своего къ дну, что съ ослабленіемъ морозовъ ясно замѣчается, способны внезапно всплывать и столь же быстро исчезать и разрушаться по причинѣ, какъ мнѣ кажется, дѣйствія тепла подпочвы дна съ одной стороны ****) и вслѣдствіе достаточнаго для разру-

*) Ладожскіе рыбаки именуютъ „свиномъ" одинаково и всплывшій донный ледъ, и кристаллы льда, образующіеся на поверхности озера.

**) D-r Barnes of Mc. Gill University. Monreal. 1906.

***) Напр. въ порогахъ въ видѣ иглъ, въ мѣстахъ болѣе спокойныхъ въ формѣ ледяныхъ пластинокъ вродѣ рыбьей чешуи.

****) Въ брошюрѣ моей „Объ условіяхъ замерзанія р. Невы" 1904 г. приводились данныя, что въ С.-Петербургѣ почва на глубинѣ 1,5 метра

шенія сцѣпленія частичекъ рыхлаго льда ничтожнаго повышенія температуры воды на десятитысячныя, т. е. гомеопатическія доли одного градуса, съ другой стороны, которыя были измѣрены электрическимъ термометромъ профессора Барнеса.

По всему этому необходимо строго разграничить именованіе „шуги", къ которой вполнѣ можетъ быть примѣнимо понятіе „ледянаго наноса", отъ „доннаго льда", къ которому это наименованіе и потому уже непримѣнимо, что оно предрѣшаетъ въ отрицательномъ смыслѣ вопросъ о возможности образованія на днѣ пленокъ разной толщины настоящаго плотнаго доннаго льда, которыя въ изслѣдованіяхъ 1904-1905 г. не могли-бы быть обнаружены и потому, что изслѣдованій этого вопроса не производилось. Между тѣмъ наблюденіями на р. Невѣ 22 ноября 1903 г. установленъ фактъ примерзанія къ корзинѣ на глубинѣ прозрачныхъ пластинокъ льда, толщиною въ листъ папиросной бумаги, діаметромъ въ $1^1/_2$ дюйма, на Ладожскомъ озерѣ въ 1905 г. наблюдались около дна прозрачныя плитки льда большихъ размѣровъ *), а мнѣ осенью 1904 г. на р. Свири пришлось быть свидѣтелемъ неожиданнаго ледохода изъ широкихъ тонкихъ ледяныхъ плитокъ, при неопредѣленныхъ условіяхъ образованія ихъ въ мягкую погоду, послѣ ледохода изъ донныхъ глыбъ и послѣ оттепели, когда рѣка должна была совсѣмъ очиститься отъ доннаго льда, что наводитъ на размышленія. Поэтому, научное разрѣшеніе всѣхъ частностей образованія доннаго льда, которое тогда выяснитъ и совокупность явленій съ нимъ связанныхъ, остается еще дѣломъ будущаго, въ которомъ рѣшающее значеніе будетъ принадлежать расширенію научнаго понятія о процессахъ замерзанія и таянія воды, въ зависимости отъ всѣхъ особенностей поглощенія, выдѣленія и передачи тепла водной средой и дномъ рѣки, которыя еще далеко не изучены и которыя усиліями однихъ практиковъ воднаго дѣла не могутъ быть разрѣшены.

Послѣдствіемъ соединенія въ одномъ терминѣ „ледяного наноса" двухъ различныхъ явленій, а именно неподвижнаго доннаго льда и плывущей шуги, или ледяного сала, является неожиданный выводъ автора, что «доннаго» льда не существуетъ, хотя въ журналѣ работъ отмѣчены наблюденія всплыванія глыбъ доннаго льда и фактъ нахо-

---

никогда не промерзала, а на глубинѣ 3 метровъ никогда не охлаждалась ниже $+4^0$ С., и слѣдовательно при значительномъ углубленіи дна р. Невы содѣйствуетъ согрѣванію воды, въ то время какъ съ поверхности происходитъ охлажденіе.

*) Такія же прозрачныя плитки въ видѣ слюды еще ранѣе наблюдались А. Захаровымъ на озерѣ, всплывавшими со дна на поверхность.

жденія во многихъ мѣстахъ рыхлаго льда на днѣ рѣки. Такимъ образомъ, замѣчательный фактъ прикрѣпленія къ дну «шуги» или элементовъ, изъ которыхъ образуется наростаніе доннаго льда, и особыя вызываемыя этимъ обстоятельствомъ явленія, въ изслѣдованіяхъ 1904-1905 г. освѣщенія не получаютъ и разсматриваются собственно лишь явленія «шуги» или ледяного сала, или, что то же, «ледяного наноса».

Между прочимъ, въ упомянутой брошюрѣ приводится интересный опытъ полученія доннаго льда лабораторнымъ путемъ, пропуская въ морозную погоду воду изъ бочекъ по деревяннымъ желобамъ, расположеннымъ зигзагами, притомъ такимъ образомъ, что при переходѣ изъ одного желоба въ другой вода падала каскадомъ. Въ желобахъ этихъ были положены еще деревянные бруски поперегъ теченія, образуя тѣмъ маленькіе водосливы, подраздѣлявшіе всю систему пути воды на рядъ отдѣльныхъ бьефовъ. По мѣрѣ движенія своего на морозѣ по открытымъ желобамъ вода охлаждалась до нуля, и только послѣ этого появлялись на ея поверхности маленькія, какъ бы связывающія воду точки, которыя, смѣшиваясь съ водой, становятся неуловимыми, ускользая въ массѣ воды. Вынувъ изъ воды ранѣе положенную вѣтку, обнаруживаютъ на ней массу ледяныхъ частичекъ, которыя ее облѣпили и которыя придаютъ ей буквально тотъ видъ, который наблюдался въ опытахъ на р. Невѣ.

Остальныя неприставшія частицы несутся съ водой дальше и скапливаются передъ порогами въ видѣ голубоватаго, полупрозрачнаго студня. Постепенно это накапливающееся ледяное желе растетъ надъ деревяннымъ порогомъ вверхъ, обволакиваетъ деревянный брусокъ совершенно и даже скрываетъ внутри своей массы самое теченіе воды. Въ противорѣчіе съ законами гидравлики для жидкихъ тѣлъ, указываетъ наблюдатель, вода здѣсь пухнетъ, вздымается въ видѣ горба вверхъ, кипитъ, какъ говорятъ въ Сибири (и какъ описываетъ свои наблюденія на золотоносной рѣчкѣ Бодайбо г. Стефановичъ).

По мѣрѣ нарастанія ледяного наноса, вода передъ порогами скапливается, наконецъ прорываетъ эту рыхлую массу и часть уноситъ съ собою по желобу. Такимъ путемъ, наблюдатель увѣренъ, получилась возможность лабораторнымъ путемъ во всякое время, разъ есть морозъ, приготовлять и собирать какое угодно количество этого, такъ называемаго доннаго льда, который оказался, какъ указываетъ В. М. Лохтинъ, какъ разъ не доннымъ, а поверхностнымъ льдомъ.

Съ своей стороны я нахожу, что въ этомъ опытѣ получился не донный ледъ, продерживась мотивированнаго выше метода въ опредѣленіи названія, а получилась «шуга». Для образованія собственно „доннаго“ льда, въ деревянномъ желобѣ не было почвенныхъ условій, имѣющихся на днѣ рѣкъ*), а для изученія условій самопроизвольнаго всплыванія доннаго льда не было условій теплоты грунта въ подпочвѣ дна. Излученіе тепла изъ деревяннаго дна желоба тоже должно быть иное, чѣмъ въ природѣ отъ грунта дна рѣки.

Именно эти-то коренныя условія, которыми опредѣляется фактъ прикрѣпленія шуги или ледяного наноса къ дну, послѣ чего она становится „доннымъ“ льдомъ, и нужно выяснить, а опытъ полученія лабораторнымъ путемъ скопленій въ порогахъ «шуги», или «ледяного наноса», въ этомъ отношеніи не даетъ объясненій.

Слѣдовательно, теорія Гей-Люссака, объясняющая примерзаніе къ дну (охлажденному треніемъ о дно ледяныхъ частицъ, получающихъ температуру ниже нуля во время пребыванія на поверхности воды) слѣдствіемъ замораживанія тончайшей пленки воды въ мѣстѣ соприкосновенія увлекаемыхъ теченіемъ съ поверхности въ глубину переохлажденныхъ кристалловъ съ охлажденнымъ дномъ рѣки, въ этомъ отношеніи, послѣ изслѣдованій 1904-1905 г. не потерпѣла никакого ущерба и по прежнему даетъ наглядное объясненіе причинъ смерзанія частицъ льда между собою. Если къ этому присоединить указанную Фарадеемъ способность льда смерзаться въ мѣстахъ соприкосновенія при температурѣ 0° (что наблюдалось въ лабораторіи въ стоячей водѣ), то это явленіе, усиливая указанные Гей-Люссакомъ способы смерзанія пластинокъ, лишь подкрѣпляетъ теорію Гей-Люссака, указывая на возможность болѣе сильнаго смерзанія сталкивающихся кристалловъ льда, которые отъ совокупнаго дѣйствія обѣихъ означенныхъ причинъ получаютъ возможность противодѣйствія разрывающей силѣ теченія. Если же принять во вниманіе точно доказанное г. Барнесомъ переохлажденіе всей массы воды во время выдѣленія изъ нея въ осеннее время кристалловъ льда, то причина эта, сама по себѣ, еще болѣе содѣйствуетъ смерзанію кристалловъ съ грунтомъ, съ предметами и между собою, причемъ переохлажденной водой естественно можетъ охладиться въ нѣкоторыхъ случаяхъ и поверхность грунта дна рѣки ниже точки замерзанія, хотя болѣе

*) По наблюденіямъ А. Захарова, донный ледъ никогда не замѣчается на глинистомъ грунтѣ, на песчаномъ сплошнымъ слоемъ не ложится, а на каменистомъ грунтѣ (на озерѣ) растилается сплошнымъ ковромъ.

сильное охлажденіе дна можно ожидать только въ ясныя ночи отъ лучеиспусканія тепла изъ почвы дна.

Что вообще новыя понятія о процессахъ замерзанія водныхъ путей лишь только вводятъ въ кругъ совершенно новыхъ особенностей, присущихъ текучей водѣ, что выставлено было мною въ докладѣ Съѣзду въ 1904 г., ясно показываетъ сужденіе автора статьи «Ледяной наносъ» о подтвержденномъ на р. Невѣ фактѣ однообразія температуры воды на поверхности и въ глубинѣ.

«Равномѣрная температура воды въ рѣкѣ, говоритъ В. М. Лохтинъ, есть признакъ несомнѣннаго постояннаго перемѣшиванія всей массы текучей воды отъ поверхности до дна (курсивъ автора подчеркиваетъ значеніе этого новаго понятія). И когда въ виду этого факта въ обычныхъ нашихъ представленіяхъ о свойствахъ теченія воды приходится прибѣгать къ терминамъ «слой воды», «струя воды», то невольно является мысль, насколько далеко это отъ того, что въ дѣйствительности совершается внутри текучей массы воды, насколько далеки еще мы съ нашими понятіями о равномѣрномъ и неравномѣрномъ движеніи воды, съ нашими понятіями о сопротивленіи теченію, о сцѣпленіи частицъ воды, которая отъ насъ еще до сихъ поръ сокрыта.

Температура различныхъ слоевъ воды, это новый факторъ, который, въ качествѣ метода изслѣдованія внутреннихъ водныхъ движеній можетъ сослужить полезную службу, является на научной аренѣ впервые, благодаря явленіямъ ледяного наноса».

Въ наблюденіяхъ, произведенныхъ въ зиму 1905-1906 г. по прибрежной полосѣ Ладожскаго озера, выше г. Шлиссербурга, особенно интересно указываемое г. Лозовскимъ всплываніе плитокъ и даже глыбъ изъ плитокъ доннаго льда, что какъ будто подтверждаетъ ожиданія проф. Барнеса встрѣтить образованіе плотнаго доннаго льда отъ излученія сквозь воду, ночью, тепла отъ грунта дна рѣки, такъ какъ представляется естественнымъ впервые обнаружить это явленіе именно на отмеляхъ, или въ прибрежной полосѣ большаго, подверженнаго волненію озера, подобнаго Ладожскому, гдѣ наблюдено было перемѣшиваніе всѣхъ слоевъ воды при 0^0 до дна, на глубинѣ 30 футъ 19 декабря н. с., вслѣдствіе отсутствія здѣсь вліянія разъѣдающаго дѣйствія теченія. Между прочимъ, въ этихъ наблюденіяхъ отмѣчено присутствіе въ прозрачныхъ ледяныхъ пластинкахъ особыхъ жилокъ, а именно главной стержневой, отъ которой подъ угломъ 45^0 идутъ въ сторону второстепенныя жилки, что напоминаетъ, зарисованное въ брошюрѣ моей 1904 г.,

вѣтвистое строеніе губокъ непрозрачнаго льда. Нѣкоторыя изъ донныхъ ладожскихъ глыбъ были изъ однихъ большихъ листообразныхъ пластинокъ. Первый разъ было найдено нѣсколько большихъ такихъ льдинъ 7 янв. подъ поверхностнымъ льдомъ. Одна изъ льдинъ была длиною 1,60 метра, шириной 1,12 метра и толщиною 0,35 мет. Чѣмъ глубже зима, тѣмъ значительнѣе были размѣры плитокъ. Такъ въ ноябрѣ донный ледъ былъ въ видѣ мельчайшихъ крупинокъ, затѣмъ въ видѣ рыбьей чешуи, въ декабрѣ 1-4 сант., въ концѣ января не меньше 0,15 метра, а бывали и въ 0,40 м. и болѣе. Вопросъ заключается лишь въ томъ, что остается неопредѣленнымъ: не были-ли и большія плитки, подобно кристалламъ, занесены вѣтромъ и волненіемъ съ открытой поверхности озера. Также не производилось спеціально ночныхъ наблюденій надъ состояніемъ неба и атмосферы, въ связи съ моментомъ первоначальнаго образованія доннаго льда, что, конечно, представляетъ большія затрудненія. Донный ледъ образовывался лишь при свободной надъ нимъ поверхности воды отъ льда. Всплываніе доннаго льда особенно было замѣтно 21 декабря, когда все видимое пространство озера было покрыто тонкимъ слоемъ льда. Непрерывно слышно было, какъ съ трескомъ въ разныхъ мѣстахъ пробивается поверхностный ледъ, разлетаются въ сторону осколки льда и всплываетъ глыба, сначала ничѣмъ не отличающаяся отъ поверхностнаго льда, а по мѣрѣ вытеканія воды глыба очень быстро принимала бѣлый свѣтъ. Ближе къ берегамъ, вслѣдствіе небольшой глубины, 1 - 1½ саж., донный ледъ не могъ развить достаточно энергіи для взламыванія поверхностнаго льда, а потому, скопляясь, дѣлалъ послѣдній непрозрачнымъ. 22 декабря ледъ продолжаетъ всплывать. 20 января дно озера совершенно чисто, утромъ же 21 января сплошь покрыто доннымъ льдомъ, который всплываетъ. 22 января озеро вновь покрылось поверхностнымъ льдомъ и почти повсюду подъ нимъ всплываетъ донный ледъ, на днѣ-же имѣется мѣстами, именно тамъ, гдѣ его нѣтъ подъ поверхностнымъ. 23 января доннаго льда нѣтъ,—весь всплылъ.

Изъ этихъ наблюденій ясно усматривается быстрота всплыванія доннаго льда, послѣ образованія поверхностнаго слоя льда, на что имѣются указанія и въ наблюденіяхъ А. Захарова.

Этимъ пока заканчивается обзоръ современнаго положенія въ Россіи развитія новыхъ понятій относительно процессовъ замерзанія рѣкъ и въ частности озеръ, сравнительно съ тѣми положеніями,

которыя были мною представлены вниманію Съѣзда русскихъ дѣятелей по водянымъ путямъ и Импер. русскаго географ. общества въ 1904 г. и которыя въ общемъ и въ частности подтверждаются и дополняются.

Вмѣстѣ съ тѣмъ пониманіе наблюдаемыхъ фактовъ расширилось аналогіей образованія рыхлаго доннаго льда на Ладожскомъ озерѣ силой волненія, подобно тому, какъ на рѣкахъ тотъ же процессъ вызывается силой теченія. Аналогія можетъ быть еще далѣе расширена въ примѣненіи къ объясненію образованія рыхлаго подводнаго льда, наблюдаемаго въ полярныхъ моряхъ и вообще въ подверженныхъ замерзанію моряхъ.

Но прежде, чѣмъ перейти къ изложенію результатовъ изслѣдованій проф. Барнеса и къ заключенію комиссіи американскихъ инженеровъ, устанавливающихъ фактъ зимнихъ наводненій на р. Св. Лаврентія (размѣрами превышающей р. Неву) исключительно отъ скопленій подъ поверхностнымъ льдомъ массъ рыхлаго льда или шуги, чѣмъ подтверждается ожиданіе мое встрѣтить именно эту причину въ образованіи всѣхъ вообще зимнихъ заторовъ льда, имѣющихъ послѣдствіемъ наводненія, позволю себѣ привести сравнительныя схемы образованія ледянаго затора по изслѣдованіямъ проф. Барнеса

Фиг. 1. Схема образованія затора, составленная проф. Барнесомъ.

въ Америкѣ и по моимъ наблюденіямъ на р. Свири, а также тѣ соображенія объ особенностяхъ, наблюденныхъ мною въ графикахъ поперечныхъ сѣченій затора льда на р. Невѣ, изысканій 1903 г.,

которыя свидѣтельствуютъ о распредѣленіи рыхлаго льда въ заторѣ, въ зависимости отъ рельефа дна. Это сдѣлать намъ кажется необходимымъ и потому, что, несмотря на существующее еще у многихъ лицъ сомнѣніе въ возможности образованія заторовъ именно изъ рыхлаго льда или „шуги", вопросъ этотъ непосредственнымъ изслѣдованіемъ состава невскихъ заторовъ въ зиму 1904-1905 г. разрѣшенъ не былъ, хотя В. М. Лохтинъ и сомнѣвался въ точности результатовъ изслѣдованія М. Ѳ. Ціонглинскаго, принципіально отрицая возможность образованія заторовъ изъ рыхлаго льда, къ чему фактически не имѣлось основаній.

На фиг. 1 воспроизведенъ составленный m-r Barnes, схематическій чертежъ положенія, въ которомъ обыкновенно находится шуга или сало (рыхлый ледъ) по выходѣ изъ открытыхъ пороговъ, при встрѣчѣ съ ледянымъ покровомъ рѣки.

По моимъ наблюденіямъ на р. Свири, при образованіи подводной запруды или затора льда, періодъ, предшествующій схемѣ г. Барнеса, выражается слѣдующей схемой (фиг. 2).

Здѣсь усматриваются торчащіе внизъ концы рыхлыхъ донныхъ глыбъ а, б, в, которые остаются въ рыхломъ состояніи въ водѣ, будучи твердыми вверху, изъ которыхъ составлялся заторъ, затѣмъ идетъ сцѣпленіе шуги, или сала, которое подбивается

Фиг. 2. Схема образованія затора по наблюденіямъ автора.

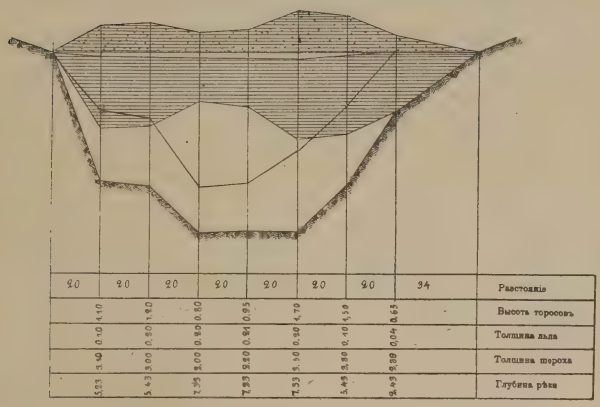
теченіемъ въ пустые промежутки между обращенными внизъ выступами а, б и в рыхлыхъ донныхъ льдинъ, надводныя, смерзшіяся между собою, плотныя поверхности которыхъ, обозначаемыя бѣлой полосой съ надписью „ледъ", никакъ не заставляютъ, по наруж-

ному виду ледяного покрова, предполагать, что внизъ торчатъ еще какіе-то длинные рыхлые наросты льда.

Слѣдовательно, при ледоходѣ, въ удаленіи отъ пороговъ, на

Поперечный профиль р. Невы, снятый 8 Декабря 1903 г.

№ 27

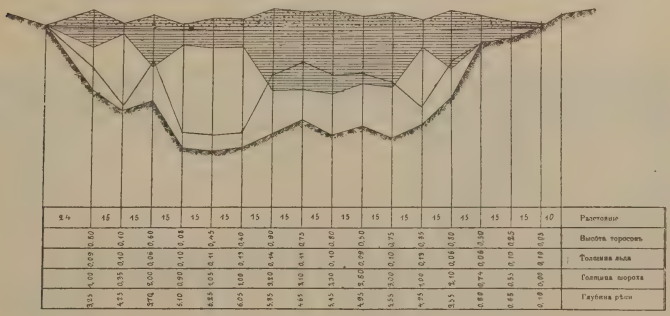


Фиг. 3.

глубокомъ фарватерѣ и на сравнительно спокойномъ теченіи въ нижней части р. Свири, въ колѣнѣ рѣки, образованіе ледяной подпруды обрисовывалось въ трехъ фазахъ:

1) образованіе поверхностнаго затора;

Поперечный профиль р. Невы № 2-ой, снятый 2 Декабря 1903 г.



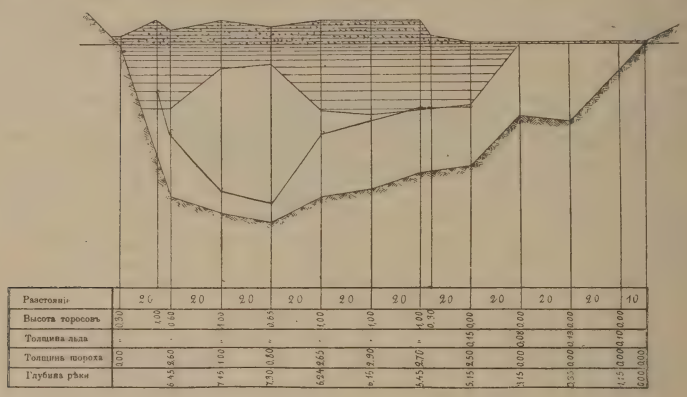
Фиг. 4.

2) заполненіе промежутковъ между нижними выступами поверхностныхъ льдинъ саломъ или шугой;

3) наростаніе внизъ запруды отъ сцѣпленія съ шугой.

Но въ мѣстахъ, удаленныхъ отъ пороговъ, и быть можетъ даже въ мѣстахъ съ тихимъ теченіемъ, представляется мнѣ возможнымъ и совершенно иной фазисъ образованія ледяной под-

Поперечный профиль р. Невы № 43-ій, снятый 14 Декабря 1903 г.

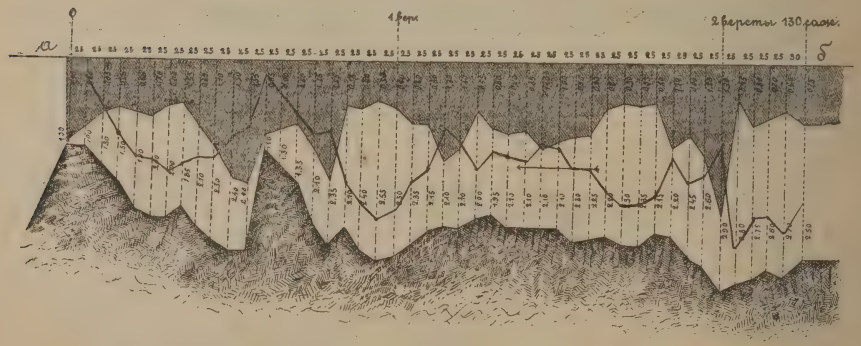


Фиг. 5.

Фиг. 3—5. Поперечные профили ледянаго затора на р. Невѣ, для объясненія предположенія автора.

пруды отъ всплыванія доннаго льда тотчасъ послѣ установки поверхностнаго ледостава, быть можетъ даже въ первый, или въ ближайшіе дни, такъ какъ въ случаѣ наличія льда на днѣ, который

Промѣры глубинъ и толщины льда по фарватеру на взорванной части затора у ВИЛЬКУВЦЯ на протяженіи 2 вер. 130 саж.



Фиг. 6. Продольная профиль ледянаго затора на р. Вислѣ, для объясненія предположенія автора.

при морозѣ, въ періодъ ледохода можетъ не успѣть весь всплыть и отдѣлиться отъ дна, естественно ожидать, что это непремѣнно произойдетъ, когда, съ образованіемъ ледостава, охлажденіе воды прекра-

тится, а дѣйствіе теплоты подпочвы дна повліяетъ на отдѣленіе рыхлаго льда отъ дна рѣки. На обстоятельство это американскіе инженеры на р. Св. Лаврентія не указываютъ, но косвеннымъ тому подтвержденіемъ можетъ служить слѣдующая особенность скопленій рыхлаго льда, обозначенныхъ на графикахъ поперечныхъ сѣченій М. Ф. Ціонглинскаго, которую авторъ не отмѣтилъ въ заключеніи своемъ. Если на перпендикулярахъ поперечныхъ профилей осеннихъ изысканій заторовъ р. Невы 1903 г. откладывать отъ дна толщину скопившагося вверху рыхлаго льда, то, соединивъ полученныя точки прямыми линіями, получимъ ломаную линію, парраллельную изгибамъ дна рѣки *). Подобныя типичныя вычерченныя мною линіи, здѣсь (фигуры 3, 4 и 5) на графикахъ воспроизводятся **). Тоже самое совпаденіе получается и въ графикѣ продольнаго 2 верстнаго сѣченія затора на р. Вислѣ, въ изданіи 1904 года (фиг. 6). Если принять во вниманіе, что ледъ въ мѣстѣ всплыванія долженъ относиться нѣсколько въ сторону по теченію, то въ контурахъ линій можно было бы ожидать еще больше отклоненій, чѣмъ въ вычерченныхъ линіяхъ наблюдается. Невольно возникаетъ предположеніе, что, слѣдуя рельефамъ дна, донный ледъ до всплыванія ранѣе лежалъ сплошнымъ слоемъ на днѣ и послѣ наступленія ледостава поднялся всей своей массой, подобно тому, какъ это на Ладожскомъ озерѣ ясно замѣчалось. Во всякомъ случаѣ интересно было бы установить фактами значеніе замѣченной параллельности линій, такъ связь ихъ съ рельефомъ дна очевидна.

II.

Вопросъ о выясненіи таинственной проблемы образованія рыхлаго доннаго льда на р. Св. Лаврентія побудилъ доктора физики профессора Barnes, of Mac Gill University, Canada, посвятить себя съ 1896 г. изученію условій образованія льда въ природѣ и въ частности доннаго льда.

Вслѣдствіе усиленной необходимости въ опредѣленномъ изло-

*) Темными линіями заштриховано скопленіе рыхлаго льда, толстая затушеванная нижняя линія обозначаетъ рельефъ дна и пустое бѣлое между ними пространство обрисовываетъ свободный для воды ходъ. Выше поверхности воды обозначена шероховатая поверхность твердаго льда. Разстоянія, толщина и глубина—въ саженяхъ.

**) Фиг. 3 соотвѣтствуетъ мѣстности р. Невы у Обуховскаго завода, ф. 4 у деревни Клочки, фиг. 5 въ кривомъ колѣнѣ, т. е. всѣ въ значительномъ другъ отъ друга разстояніи.

женіи явленій образованія льда, особенно по отношенію къ развитію пользованія гидравлической силой, проф. Barnes рѣшилъ сообщить исторію изученія р. Св. Лаврентія имъ самимъ и американскими инженерами въ связи съ возможно полнымъ изложеніемъ законовъ передачи тепла. Обращеніе матеріи съ высшей (скрытой) энергіей въ форму матеріи съ меньшимъ потенціаломъ энергіи (ледъ) вызываетъ столь большое выдѣленіе энергіи (тепла), что ея было бы достаточно для нагрѣванія на 1° Фаренг. массы воды въ 147 разъ большей ея объема. Поэтому вопросъ сводится къ изученію процесса выдѣленія и поглощенія тепла, который въ свѣтѣ современныхъ физическихъ понятій разрабатывается проф. Barnes весьма подробно, но не можетъ, за недостаткомъ мѣста, быть включенъ въ предѣлы этой статьи. Основнымъ положеніемъ представляется зависимость количества образующагося льда отъ количества извлекаемаго тепла, что вызываетъ потребность знанія законовъ, руководящихъ передачей тепла. Во всѣхъ случаяхъ явленія подчиняются однимъ и тѣмъ же законамъ и дѣйствующимъ силамъ, какъ въ самомъ большомъ озерѣ, или рѣкѣ, такъ и при наиболѣе утонченныхъ опытахъ въ лабораторіи. Большая разница природныхъ условій даетъ много формъ льда, но во всѣхъ случаяхъ способъ передачи тепла представляется наиболѣе важнымъ, рѣшающимъ факторомъ, выражающимся въ лучеиспусканіи, теплопроводности и движеніи нагрѣваемыхъ или охлаждаемыхъ частицъ воды (конвекція). Къ сожалѣнію, добавляетъ проф. Barnes, законы эти далеко еще не извѣстны физикамъ въ желаемой степени, когда приходится ихъ примѣнять къ какому либо особому сочетанію явленій.

Получивъ отъ профессора Barnes результаты его десятилѣтнихъ замѣчательныхъ трудовъ *), по причинамъ, которыя будутъ изложены, позволю себѣ вкратцѣ сообщить тѣ свѣдѣнія, которыя могутъ быть для нашихъ цѣлей наиболѣе полезны.

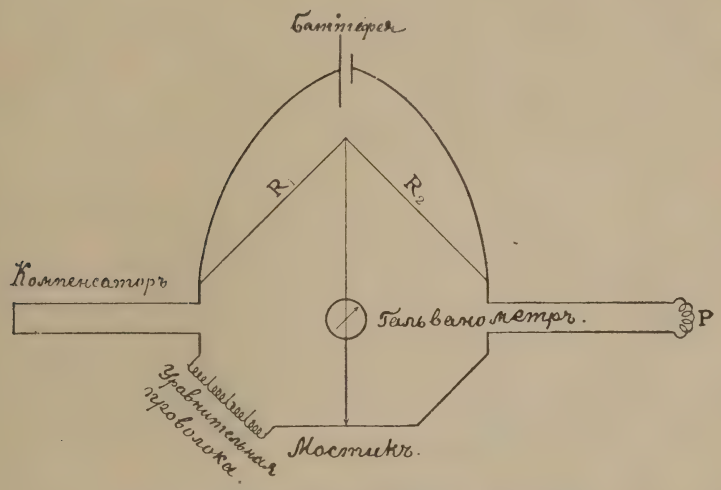
Неудовлетворительность термометрическихъ наблюденій надъ состояніемъ воды въ періодъ ея замерзанія побудили Монреальскую инженерную комиссію обратиться въ Mac Gill University съ просьбою относительно примѣненія болѣе утонченныхъ способовъ измѣреній. Было желательно, если возможно, найти связь температуры воды съ образованіемъ рыхлаго льда, и съ этого времени D-r Barnes приступилъ къ изготовленію для измѣреній особаго прибора, осно-

*) Ice formation with special reference to Anchor-ice and Frazil.

ваннаго на измѣненіи электрическаго сопротивленія платиновой проволоки при ничтожныхъ колебаніяхъ температуры воды. Подобные инструменты передъ тѣмъ уже были сдѣланы и употреблялись для всякаго рода измѣреній температуры и оказались чрезвычайно полезны, но D-r Barnes придумалъ наиболѣе утонченный дифференціальный термометръ, единственный въ своемъ родѣ.

Термометръ имѣетъ градусъ длиною 8 дюймовъ и помощью его возможно измѣреніе до одной десятитысячной доли одного градуса.

Сообщеніе объ этомъ было сдѣлано въ мѣсячномъ собраніи въ New Jork City въ мартѣ 1905 г. и въ собраніи американскаго общества инженеръ-механиковъ. (Помѣщ. въ т. XXVI Transactions).



Фиг. 7. Схема электрическаго термометра.

Степень точности измѣренія приборомъ опредѣляется предѣломъ, до котораго желательно производить измѣреніе. Конечно, и съ такого рода термометромъ производство наблюденій десятитысячныхъ долей градуса представляетъ затрудненія, но при умѣніи обращаться съ приборомъ такая точность вполнѣ возможна.

Схема соединеній платиноваго термометра представлена на фиг. 7.

Вся система представляетъ изъ себя измѣритель сопротивленія въ формѣ извѣстнаго мостика Витстона.

R_1 и R_2 представляютъ плечи мостика, съ правой стороны находится свернутая въ бухту измѣрительная проволока P съ проводниками, т. е. термометръ, а съ лѣвой компенсаторъ и уравнительная проволока.

Вверху показана батарея, а въ центрѣ гальванометръ, соединяющій противоположныя вершины мостика. Проводники компен-

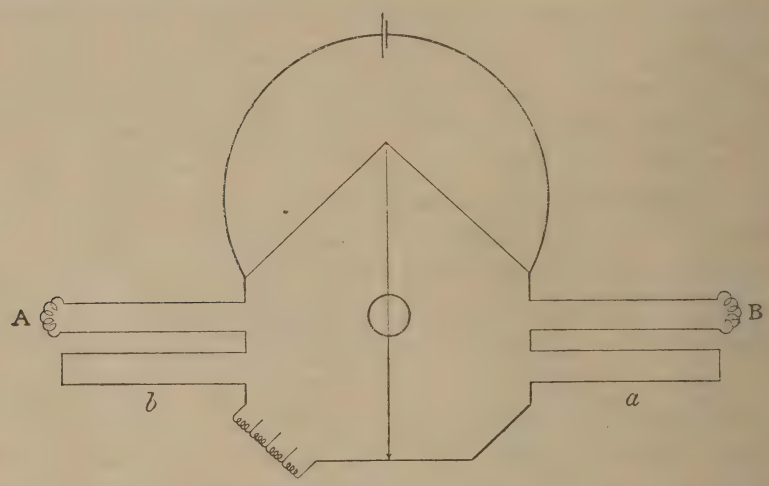
сатора одинаковой длины съ проводами термометра и сложены вмѣстѣ бокъ о бокъ.

Въ дифференціальномъ термометрѣ имѣется двойной рядъ соединеній по схемѣ фиг. 8.

Уравнительные провода термометра *A* соединены послѣдовательно съ термометромъ *B* и уравнительные провода термометра *B* соединены послѣдовательно съ термометромъ *A*.

Термометры *A* и *B*, образующіе дифференціальную пару, соединены съ противоположными сторонами мостика.

На измѣрительной проволокѣ могутъ дѣлаться мелкіе отсчеты, и если отсчеты выходятъ за предѣлы проволоки, то могутъ быть



Фиг. 8. Схема дифференціальнаго электрическаго термометра проф. Барнеса.

введены дополнительныя сопротивленія. Въ этой системѣ каждая отдѣльная часть компенсирована.

Проволоки, балансирующія измѣненіе сопротивленія термометра, должны быть компенсированы. Магазинъ сопротивленія, употреблявшійся профессоромъ Барнесомъ, былъ тщательно компенсированъ. Такихъ приборовъ существуетъ только два: одинъ имѣетъ профессоръ Calender въ Лондонѣ, другой D-r Barnes въ Америкѣ.

Профессоръ Calender сдѣлалъ свой приборъ самъ, также и приборъ г. Барнеса былъ сдѣланъ имъ самимъ. На устройство прибора потребовался годъ времени и каждая проволока въ отдѣльности была компенсирована и уложена въ магазинъ сопротивленія, а такъ какъ такихъ проволокъ много, то и времени потребовалось много.

Принципъ компенсирующаго провода былъ введенъ профессо-

ромъ Календеромъ и дѣлаетъ отсчеты независимыми отъ длины соединительной проволоки.

Такимъ образомъ возможно было при измѣреніяхъ въ р. Св. Лаврентія оперировать съ термометромъ приблизительно на разстояніи одной мили отъ мѣста наблюденія.

Детали термометра были тщательно разработаны, какъ напр. укладка проволокъ въ свинцовую предохранительную изолилировку. Конечно, требуется чувствительный гальванометръ.

Для менѣе точныхъ наблюденій вмѣсто гальванометра можетъ быть употребленъ телефонъ.

Шкала отсчета можетъ быть градуирована по желанію, и такимъ образомъ она можетъ быть устроена для отсчетовъ какой угодно точности. Можно сдѣлать градусъ соотвѣтствующимъ длинѣ десяти дюймовъ, или одной десятой дюйма. Это не составляетъ разницы.

Шарикъ термометра Р (содержащій платиновую проволоку) соединенъ съ измѣрительной *) проволокой, контактъ которой соединенъ со шкалой градуса.

Діаметръ платиновой проволоки отъ 0,006 до 0,007 дюйма. Проволока для мостика можетъ варьировать отъ шестнадцати до двадцати пяти тысячныхъ или даже до десятитысячной доли одного дюйма. Это зависитъ отъ условій. Начало наблюденій совпало съ 1896-1897 г.

Была заготовлена деревянная будка для измѣреній въ подходящемъ мѣстѣ противъ г. Монреаля. Въ февралѣ начались наблюденія, съ цѣлью опредѣлить насколько температура рѣки отличается отъ точки замерзанія.

Былъ принятъ дифференціальный способъ измѣреній, устанавливавшій температуру воды по сравненію съ температурою тщательно приготовленной смѣси льда и воды.

Въ употребленіи былъ весьма чувствительный гальванометръ, и всякаго рода уклоненія тотчасъ же улавливались, или по показанію гальванометра, или по измѣненію въ соотвѣтствующей измѣряющей проволокѣ. Проволока имѣла шкалу въ 8 дюймовъ, соотвѣтствующихъ 1^0 С. Встрѣченныя затрудненія оказались весьма значительны, и хотя пять недѣль было употреблено на измѣренія, но получено было лишь полдюжины измѣреній, такъ какъ вслѣдствіе помѣщенія приборовъ въ будкѣ, отъ вліянія приспособленій по отопленію ослабло дѣйствіе гальванометра и измѣнялось магнитное поле.

Эти наблюденія показали, что при колебаніи температуры

*) уравнительной.

воздуха температура воды подъ поверхностнымъ льдомъ никогда не отклонялась болѣе, чѣмъ на 0,01° градуса отъ точки замерзанія и, какъ общее правило, колебанія были въ предѣлахъ немногихъ десятитысячныхъ долей одного градуса.

Шаръ термометра былъ вставленъ въ свинцовый футляръ длиною 6 дюймовъ и соединялся съ проволоками, заключенными въ свинецъ, длиною въ 100 футовъ, которыя входили въ будку.

Прежде всего было установлено точное соотношеніе между двумя шарами термометровъ, когда оба были положены въ растворъ льда съ водой, въ самой будкѣ. Затѣмъ сторожъ выносилъ шаръ и опускалъ въ рѣку и черезъ нѣкоторый не большой промежутокъ времени получалось второе соотношеніе.

Такимъ образомъ получалась возможность тотчасъ получить измѣненіе въ отсчетѣ, вызванное перемѣной температуры.

Въ слѣдующемъ году наблюденія были сдѣланы въ Лачинскихъ порогахъ въ открытой водѣ, которая вытекала изъ подъ льда въ разстояніи 5 миль выше дамбы. Теченіе неслось здѣсь, отъ колѣна, со страшной скоростью и съ сильнымъ бурленіемъ на поверхности.

Такимъ образомъ могли ожидать, что если гдѣ либо вода охлаждается значительно ниже точки замерзанія, то это должно было имѣть мѣсто именно здѣсь.

Труба термометра могла быть помѣщена и подвѣшена въ такомъ разстояніи отъ кромки берегового льда, чтобы быть защищенной отъ излученія. Наблюденія въ этой позиціи производились въ теченіе 6 недѣль и колебанія получались лишь на ничтожную величину больше, сравнительно съ измѣреніями прошлой зимы подъ поверхностнымъ льдомъ. Но поскольку вопросъ касался степени пониженія температуры воды, то оно заключалось въ предѣлахъ одной сотой градуса (0,01°), и наибольшее пониженіе въ очень холодный день составляло 0,006° С.

Въ мягкую погоду вода представлялась болѣе спокойной и менѣе стремительной, но въ рѣзкую погоду она кажется болѣе суровой, какъ будто брызги тотчасъ же замерзаютъ и падаютъ назадъ въ формѣ льда. Значительныя массы доннаго льда вздымались вблизи мѣста наблюденія. Онѣ, при морозѣ, имѣютъ видъ большихъ плотныхъ массъ льда, но если испробовать ихъ крѣпость, то палка или шестъ протыкаются сквозь нихъ.

Профессоръ Барнесъ наблюдалъ много сотенъ такихъ льдинъ, всплывавшихъ съ восходомъ солнца.

Наблюденія температуры въ Лачинскихъ порогахъ.

ТАБЛИЦА I.

Время наблюденій. н. ст.	Температура воздуха, градусы Фаренгейта.		Солнечное сіяніе въ %.	Небо.	Скорость вѣтра въ миляхъ въ часъ.	Разница отъ точки замерзанія по Цельсію.	
	Max.	Min.				Теченіе.	Спокойная вода.
Февраль							
3	+20	+10	89	Ясно	28,6	0	—
5	+32	— 3	88	„	9,7	—	+ 0,0215
7	+38	+27	00	Дождливо.	13,1	+ 0,0197	+ 0,0182
8	+34	+28	00	„	16,3	+ 0,0547	+ 0,0415
11	+18	— 3	94	Ясно.	6,5	+ 0,0137	+ 0,0151
12	+11	— 2	00	Вѣтрено.	21,1	— 0,0065	— 0,0068
13	+17	0	100	Ясно.	15,1	—	+ 0,0186
15	+33	+24	67	Перемѣнно.	17,6	+ 0,0280	+ 0,0423
Мартъ 1	+22	—10	25	„	16,8	—	0

Во время теплой дождливой погоды на теченіи было нѣсколько теплѣе, чѣмъ въ спокойной водѣ, тогда какъ при ясной погодѣ съ большимъ сіяніемъ солнца на теченіи было холоднѣе. Всѣ отсчеты дѣлались днемъ и указываютъ, какое громадное нагрѣвающее вліяніе на воду имѣютъ солнечные лучи, хотя температура воздуха остается холодной. Вѣтеръ имѣетъ замѣтное вліяніе на охлажденіе воды, въ особенности противный теченію, напр. 12 февраля. Въ этотъ день замѣчена была наибольшее отклоненіе отъ точки замерзанія. Громадное количество льда вырабатывалось въ этотъ день во всей массѣ воды, причемъ вода получала бурый песочный цвѣтъ, особенно на быстромъ теченіи.

На мелкомъ мѣстѣ теченія былъ прекрасный случай наблюдать ростъ доннаго льда. 3 февраля при началѣ наблюденій большія массы доннаго льда уже имѣлись на днѣ. Въ періодъ отъ 6 до 9 февраля отъ дождливой погоды ледъ раздѣлился и исчезъ. По ночамъ 10 и 12 февраля донный ледъ опять появился прикрѣпленнымъ ко дну in situ и въ большомъ количествѣ на темныхъ камняхъ. 12-го, благодаря переохлажденному слегка состоянію воды,

плавучій (рыхлый) ледъ, увлекаемый теченіемъ, присоединялся къ донному льду, который быстро утолщался. Большіе ледяные острова появились въ порогахъ на болѣе мелкихъ мѣстахъ. Въ этотъ періодъ можно ожидать наихудшихъ дѣйствій рыхлаго льда, вслѣдствіе его скопленій. Въ этотъ день шаръ термометра, при одномъ изъ измѣреній, былъ положенъ на донный ледъ и оказался примерзшимъ такъ крѣпко, что едва удалось его поднять. 13 февраля, хотя температура воздуха продолжала быть холодной, солнце согрѣло воду и всплывало большое количество льда. Цвѣтъ воды былъ уже совсѣмъ другой и видимо въ водѣ ледъ не образовывался.

Рано утромъ не было замѣтно донныхъ льдинъ, но съ повышеніемъ на горизонтѣ солнца, послѣ восхода, громадныя количества доннаго льда поднимались на поверхность воды и плыли внизъ.

ТАБЛИЦА II.

Наблюденія.	Солнечное сіяніе въ %.	Мѣсто наблюденія.	Разница отъ 0° С.	Температура воздуха.
Февраль.				
13	100	5 ф. отъ поверх. (дно)	+ 0,0186	+ 16° Фарен.
„	„	1 „ „	+ 0,0474	
„	„	8 дюйм.	+ 0,0741	
„	„	Мелкая струя	+ 0,0461	
15	„	3 ф. отъ поверхности .	+ 0,0423	30°, ясное небо
„	„	8 д.	+ 0,0819	„ „ „
„	„	Подъ кромкой льда . .	+ 0,0292	„ „ „
„	„	Глубокая струя	+ 0,0280	„ „ „
„	„	Въ заводи на днѣ, при обратн. теченіи . .	+ 0,0112	„ облачно.

На днѣ, въ заводи съ обратнымъ теченіемъ, болѣе низкая температура воды свидѣтельствуетъ о присутствіи слоя доннаго льда, образовавшагося въ предшествовавшія ясныя ночи. Быстрота, съ которой температура воды опустилась къ точкѣ замерзанія 15 февраля, когда солнце заволокло оболаками, указываетъ то же.

Такимъ образомъ наблюденіями установлено, что отъ нагрѣва солнечными лучами, даже въ холодную погоду, донный ледъ отдѣляется отъ дна при ничтожномъ повышеніи температуры, и

этимъ объясняется боязнь лодочниковъ на р. Св. Лаврентія переѣзжать рѣку зимой въ солнечную погоду. Послѣ этихъ наблюденій становилась понятной и причина начала ледохода на р. Свири въ день съ солнечнымъ сіяніемъ 4 ноября 1902 г. отъ всплыванія доннаго льда при слабомъ морозѣ въ 4°, когда, слѣдовательно, донный ледъ уже не наросталъ, а напротивъ того всплывалъ въ большихъ массахъ и образовывалъ ледоходъ *).

Съ другой стороны переохлажденное, хотя и въ чрезвычайно ничтожной долѣ, состояніе воды при морозахъ, очевидно, само по себѣ вліяетъ на смерзаніе кристалловъ льда въ шугу, или донный ледъ и не только тысячныя, но и десятитысячныя доли градуса, какъ обнаружилъ Г. Барнесъ, имѣютъ здѣсь существенное вліяніе.

M-r Barnes высказываетъ слѣдующія общія соображенія. Чрезвычайное постоянство температуры воды въ рѣкѣ заслуживаетъ большого интереса. Съ теоретической точки зрѣнія невозможно представить себѣ воду значительно переохлажденной ниже точки замерзанія. Въ лабораторіи достигаютъ переохлажденія на нѣсколько градусовъ, но если опустить въ сосудъ малѣйшій кристаллъ льда, то вся масса съ образованіемъ льда пріобрѣтаетъ температуру точки замерзанія и растворъ не принимаетъ пониженной температуры, пока сколько-нибудь остается воды.

Наличіе сала, или шуги (frazil, т. е. вообще рыхлый ледъ или сцѣпленіе кристалловъ), опредѣляется исключительно температурою воды, что зависитъ отъ суровости погоды. Въ холодную погоду, при сильномъ вѣтрѣ, обращаемая слегка въ переохлажденное состояніе вода борется съ этимъ состояніемъ и, для удержанія равновѣсія около точки замерзанія, вырабатываетъ ледъ, освобождая запасъ собственнаго тепла. Быстрое образованіе льда очевидно. Кристаллы рыхлаго льда примерзаютъ къ погруженнымъ въ воду предметамъ и также смерзаются между собою. Каждый кристаллъ представляется быстро растущимъ и безчисленные новые кристаллы нарождаются изъ массы воды, выростая изъ мельчайшихъ формъ матеріи, какъ „ядра“, вокругъ которыхъ они ростутъ.

*) При тѣхъ же условіяхъ минувшей осенью 1906 г. 21 ноября мною наблюдался ледоходъ изъ всплывавшаго рыхлаго льда на р. Волховѣ около г. Новой Ладоги. Буксируемый паромъ съ новобранцами былъ такъ облѣпленъ льдомъ, что пароходъ не въ силахъ былъ буксировать и паромъ отнесло съ пароходомъ теченіемъ къ озеру, послѣ чего пароходъ могъ подняться лишь по болѣе тихому мѣсту теченія вдоль берега.

Каждая песчинка въ массѣ воды служитъ такимъ центромъ, или ядрышкомъ, вокругъ котораго наростаютъ кристаллы. Такимъ образомъ въ рыхломъ льдѣ часто находятся песчинки, разсѣянныя во всей массѣ или глыбѣ льда.

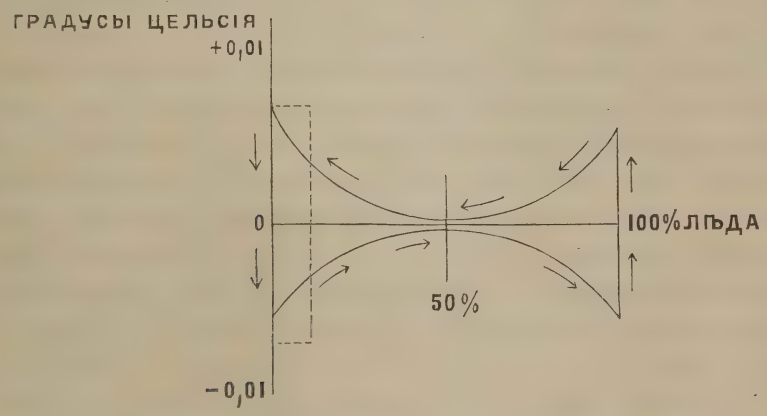
Мы видѣли уже, что условія колебаній температуры воды около точки замерзанія столь деликатны, что достаточно уклоненія въ какую-нибудь сторону на нѣсколько тысячныхъ долей одного градуса, чтобы получились крайне рѣзкія, чрезвычайныя физическія явленія. Что обращеніе льда въ воду и обратно зависитъ отъ ничтожнѣйшихъ разницъ температуры въ массѣ, уже предполагалось, и установлено, что температура смѣси льда и воды зависитъ отъ ихъ относительныхъ количествъ. Опыты, произведенные профессоромъ Барнесомъ, это подтверждаютъ. Наблюденный фактъ, что послѣ рѣзкаго холода вода въ рѣкѣ подъ ледянымъ покровомъ приходитъвъ слегка переохлажденное состояніе, которое постепенно возвращается къ точкѣ замерзанія, по мѣрѣ наростанія льда, показываетъ это. На открытомъ фарватерѣ, гдѣ количество воды сравнительно со льдомъ очень велико, были получены нѣсколько большія разницы, чѣмъ подъ поверхностнымъ льдомъ. Чѣмъ болѣе получается льда и воздуха въ смѣси, тѣмъ менѣе температура воды можетъ упасть ниже точки замерзанія.

Если представить себѣ количество воды подверженнымъ однообразному и опредѣленному выдѣленію тепла, отнятіемъ его около точки замерзанія, при постоянномъ перемѣшиваніи смѣси льда и воды, тогда возможно легкое пониженіе температуры смѣси на нѣсколько тысячныхъ долей градуса *), затѣмъ приближеніе къ точкѣ замерзанія по мѣрѣ увеличенія количества льда и когда льда будетъ болѣе, чѣмъ воды, температура вновь начнетъ понижаться. Обратно, при таяніи льда температура смѣси (которую подвергаютъ нагрѣванію) слегка повысится въ зависимости отъ количества поглощеннаго тепла и затѣмъ болѣе или болѣе будетъ понижаться по мѣрѣ увеличенія количества воды и начнетъ вновь повышаться, когда количество воды начнетъ преобладать.

Схематически процессъ этотъ выражается приведенной на фиг. 9 діаграммой, слѣдуя по пути направленія стрѣлокъ. По горизонталь-

*) Процессъ обращенія кристалла льда въ воду и обратно видимо требуетъ для своего совершенія опредѣленнаго промежутка времени, и если холодъ усиливается, то процессъ образованія кристалловъ не успѣваетъ слѣдовать за пониженіемъ температуры воды, и тогда получается въ водѣ легкое переохлажденіе.

ной оси откладываются, для полученія кривыхъ, количества льда въ процентахъ, а по вертикальной доли градуса. Чтобы имѣть понятіе о колебаніи температуры смѣси, за предѣлами 50% смѣси льда и воды, нужно еще болѣе наблюденій. Пунктиромъ, въ прямоугольникѣ, въ грубой формѣ, представлена та часть схемы, которая въ зиму соотвѣтствуетъ пункту, подобному Лачинскимъ порогамъ, гдѣ процентное количество льда никогда не достигаетъ большой величины. Свѣдѣнія эти приводятся нами изъ послѣдняго труда г. Барнеса «Ice formation», а въ предшествовавшей, присланной г. Барнесомъ мнѣ брошюрѣ*), обѣ части кривыхъ значительно отстоятъ отъ горизонтальной оси. По этому поводу г. Барнесъ высказываетъ, что даже при совершенствѣ смѣси льда и воды неизвѣстно еще, встрѣтится ли



Фиг. 9. Діаграмма, изображающая процессы замерзанія и таянія.

кривая, выражающая потерю тепла, съ частью кривой, соотвѣтствующей случаю пріобрѣтенія тепла, или же онѣ будутъ отличаться на ничтожныя доли градуса. Возможно, что встрѣча, т. е. соприкосновеніе, послѣдуетъ (при 50%), и тогда точка замерзанія будетъ выражаться смѣсью одинаковыхъ количествъ льда и воды, не пріобрѣтающихъ и не отдающихъ тепла. Теперь же то, что мы считаемъ нулемъ температуры, въ дѣйствительности представляетъ величину колеблющуюся, хотя и въ ничтожныхъ предѣлахъ. Въ рѣкѣ, какъ приводилось, пониженіе болѣе одной сотой доли градуса (—0,0068° 12 февраля) не наблюдалось.

Производилось также полученіе рыхлаго льда искусственнымъ лабораторнымъ путемъ въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и въ рѣкѣ. Жидкій и охлажденный воздухъ, принятыми мѣрами, находился въ

*) Anchor ice and precise temperature measurements.

подходящемъ сосудѣ въ состояніи кипѣнія и направлялся въ воду, которую ему предоставлено было взбалтывать. Вода заключалась въ стеклянномъ сосудѣ, погруженномъ въ смѣсь льда и воды, и была охлаждена до нуля. Жидкій воздухъ находился въ другомъ сосудѣ съ двумя стеклянными трубками въ днѣ его. Трубки эти проходили (загибались) отъ пункта выше жидкаго воздуха въ воду внизъ. Дрожащій воздухъ и взбалтываніе стеклянной палочкой вызвали образованіе очень тонкихъ кристалловъ льда, совершенно подобныхъ frazil (т. е. шугѣ) *). Въ началѣ опытовъ съ образованіемъ первыхъ кристалловъ льда температура упала нѣсколько болѣе одной сотой градуса. Прибавляя послѣдовательно 5, 10 и 20 по вѣсу частей льда, получили пониженіе разницы въ температурѣ: такъ, при моментѣ образованія льда наблюдалось—0,0140° С, при 20% льда—0,0060.

Главнымъ условіемъ образованія шуги и доннаго льда представляется, по Барнесу, переохлажденное состояніе воды, при которомъ частицы льда быстро смерзаются, а частицы растительныхъ веществъ, тины и песчинки, часто наблюдаемыя въ центрѣ кристалловъ льда, представляются необходимыми ядрышками, вокругъ которыхъ кристаллы формируются. Такимъ путемъ г. Барнесъ отвѣчаетъ на вопросъ о первообразованіи начальныхъ крупинокъ кристалловъ льда (независимо отъ кристалловъ, осаждающихся изъ паровъ воды).

Приписывая примерзаніе кристалловъ къ дну образованію пленки льда на днѣ, **) г. Барнесъ замѣчаетъ, что опытнымъ путемъ удостовѣриться въ этомъ еще не удалось. Но излученіе тепла въ междупланетное пространство особыми разрядами длинныхъ тепловыхъ лучей, вызывающихъ охлажденіе дна, которые могутъ проникать сквозь толщу воды отъ грунта рѣки, не задерживаясь въ ясную ночь, и, обратно, полученіе такимъ же путемъ тепла грунтомъ рѣки въ дни съ солнечнымъ сіяніемъ, на основаніи данныхъ спектральнаго анализа и новыхъ наблюденій въ области излученія,—онъ считаетъ болѣе, чѣмъ вѣроятнымъ. Указывая на опыты Фарадея со сцѣпленіемъ ледяныхъ частицъ, чему онъ тоже придаетъ значеніе, и не соглашаясь съ Араго, г. Барнесъ совсѣмъ не принимаетъ въ соображеніе теоріи Гей-Люссака, такъ какъ, пови-

*) Аналогичное явленіе, какъ подтверждаетъ г. Барнесъ, происходитъ при простомъ взбалтываніи воды въ сосудѣ на сильномъ морозѣ, т. е. простымъ способомъ, который производился мною и описанъ въ брошюрѣ 1904 г.

**) Отъ лучеиспусканія изъ почвы дна.

димому, съ ней незнакомъ, судя по приводимымъ имъ источникамъ литературныхъ справокъ*). Впрочемъ, и у насъ въ Россіи вопросъ о примѣненіи этой теоріи къ установленію новыхъ понятій о замерзаніи водныхъ путей былъ мною поднятъ лишь съ 1902 г., и ранѣе въ инженерномъ мірѣ эта теорія не обсуждалась.

Между тѣмъ въ освѣщеніи доказательствъ профессора Барнесъ теорія Гей-Люссака по существу своему не только не опровергнута, но даже усилена фактомъ переохлажденія воды, которое усиливаетъ смерзаніе частицъ.

Обсуждая теплоемкость воды, г. Барнесъ пришелъ къ заключенію о слѣдующей особенности воды, которая обусловливаетъ и непонятную причину наибольшей плотности воды не при 0^0, а при $+4^0$ С. По высказываемой новой точкѣ зрѣнія, вода при 0° представляетъ изъ себя насыщенный растворъ изъ ледяныхъ молекулъ. Какая бы физическая разница въ строеніи ледяныхъ и водяныхъ молекулъ ни заключалась, во всякомъ случаѣ первые представляютъ изъ себя фазу болѣе слабаго состоянія энергіи, причемъ разница между обѣими фазами измѣряется въ тепловой энергіи, находящей выраженіе въ скрытой теплотѣ, обнаруживаемой при замерзаніи или таяніи воды.

Присутствіе ледяныхъ молекулъ въ состояніи раствора вполнѣ объясняетъ быстрое уменьшеніе теплоемкости воды съ подъемомъ температуры и наибольшую плотность ея **).

Въ первомъ случаѣ затрата энергіи выражается въ обращеніи части ледяныхъ молекулъ въ молекулы воды и въ ихъ расширеніи. Относительное количество ледяныхъ молекулъ становится меньше съ повышеніемъ температуры, и, слѣдовательно, теплоемкость становится тоже меньше. При $3{,}75^0$ С наступаетъ полное равновѣсіе, что объясняется тѣмъ, что нормальное возрастаніе теплоемкости уравновѣсилось поглощеніемъ тепла отъ преобразованія структуры

*) Въ числѣ прочихъ упоминается и теорія Quincke (1905 г.).

**) Для опредѣленія тепловой единицы (thermal unit) г. Барнесъ находитъ наиболѣе подходящей температуру воды, при которой теплоемкость равна средней ея величинѣ между 0^0 и 100^0С, а именно 15^0 или 16^0С. Этому положенію будетъ соотвѣтствовать теплоемкость воды, равная 1,0002 (равная одной сотой части изъ суммы всѣхъ величинъ теплоемкости воды между нулемъ и 100^0, принимаемой за единицу). Приводится слѣдующая таблица теплоемкости воды при разныхъ температурахъ:

— 5^0С . . .	1,0158	20^0С . . .	0,9989	50^0С . . .	0,9980	80^0С . . .	1,0017
0 „ . . .	1,0094	30 „ . . .	0,9976	60 „ . . .	0,9991	90 „ . . .	1,0031.
10 „ . . .	1,0023	40 „ . . .	0,9974	70 „ . . .	1,0004		

40°

ледяныхъ молекулъ въ водяныя. При 4° С ледяныя молекулы вѣроятно исчезаютъ совершенно, и кривая теплоемкости пріобрѣтаетъ нормальный характеръ, какъ для обыкновенной жидкости.

Во второмъ случаѣ, по отношенію къ наибольшей плотности воды при +4° С, замѣчаются результаты двухъ взаимодѣйствій: первый заключается въ измѣненіи объема воды, вслѣдствіе уменьшенія числа ледяныхъ молекулъ (сравнительно съ 0°), а второй выражается въ естественномъ увеличеніи пространства, требуемаго для водяныхъ молекулъ съ повышеніемъ температуры. При этомъ существуетъ предположеніе, что невидимыя ледяныя молекулы занимаютъ большій объемъ, чѣмъ водяныя молекулы, совершенно также, какъ когда эти ледяныя молекулы, находящіяся въ растворенномъ состояніи, обращаются въ кристаллическую структуру.

Отъ 0° къ верху заключается такъ много ледяныхъ молекулъ въ водѣ, что съ повышеніемъ температуры замѣтно уменьшеніе объема воды.

При 4° происходитъ равновѣсіе отъ взаимодѣйствія обѣихъ причинъ, за которымъ слѣдуетъ увеличеніе объема съ повышеніемъ температуры, маскирующее дѣйствіе льда.

Сдѣлавъ обзоръ описанныхъ свойствъ воды, необходимо вкратцѣ остановиться на нѣкоторыхъ физическихъ свойствахъ льда. Мы знаемъ, что ледъ очень пластиченъ, можетъ быть формованъ въ различныя формы, и имѣются примѣры льда, прессованнаго между тяжелыми литейными формами въ правильные шары. Ледъ, сжимаемый въ цилиндрѣ, можетъ быть выжатъ наружу сквозь узкое отверстіе. Ледъ не представляетъ, однако, характеристичныхъ свойствъ липкости, что было доказано Тиндалемъ. Иллюстраціей этому, а также и хрупкости льда, можетъ служить движеніе ледниковъ.

Ледникъ, двигающійся внизъ черезъ легкій уклонъ, ломается подъ прямыми углами, указывая тѣмъ на чрезвычайную хрупкость свою.

Способность льда уступать и таять подъ давленіемъ происходитъ, вѣроятно, отъ особаго свойства льда, называемаго *regelation*. Сто пятьдесятъ атмосферъ давленія понижаютъ точку замерзанія воды и льда на 1°С.

Происходитъ это отъ обращенія части льда сжатіемъ въ воду; температура понижается таяніемъ льда и обращеніемъ въ воду. Явленіе это служитъ основаніемъ многихъ особенностей льда въ природѣ.

Весьма интересенъ опытъ Боттомлея, состоящій въ томъ, что кусокъ льда перерѣзывается сквозь его толщу проволокой, привязанной къ грузу. Давленіе проволоки въ точкахъ соприкосновенія

плавитъ ледъ, вода отекаетъ вокругъ проволоки и освобождается такимъ образомъ отъ давленія, при температурѣ ниже точки замерзанія (или плавленія).

Такимъ образомъ сверхъ проволоки вода вновь замерзнетъ, и проволока постепенно скользитъ сквозь ледъ, оставляя его послѣ прохода проволоки такимъ же цѣльнымъ, какимъ онъ былъ до того. При помощи давленія можно спаивать между собою куски льда Тонкая пленка воды, образующаяся въ это время при давленіи между соприкасающимися плоскостями, тотчасъ-же, по прекращеніи давленія, замерзаетъ, твердѣетъ и скрѣпляетъ вмѣстѣ оба куска. *Г. Barnes указываетъ еще на иную способность льда, которая только что была измѣрена*, а именно присущую ему *способность самопроизвольнаго роста въ соприкосновеніи съ водою при точкѣ замерзанія.* Извѣстенъ опытъ красиваго роста кристалловъ квасцовъ или сахара въ насыщенномъ растворѣ квасцовъ или сахара. Повидимому, то же, но только очень тихо, происходитъ и со льдомъ, такъ какъ выше указывалось уже, что вода содержитъ въ себѣ ледъ въ состояніи раствора.

Постепенность, съ которой растетъ ледъ, была измѣрена. Если предоставить совершаться природному процессу роста льда, то *одинъ дюймъ образуется приблизительно въ два съ половиною года.* Слѣдовательно, въ инженерномъ дѣлѣ это существенной роли не играетъ, но фактъ этотъ важенъ въ томъ отношеніи, что помогаетъ ледянымъ кристалламъ слѣпляться вмѣстѣ, причемъ замораживается между ними отъ взаимнаго роста тончайшій слой воды въ плоскостяхъ соприкосновенія. Такимъ образомъ объясняется опытъ Фарадея, который, соединяя между собою кусочки льда въ водѣ съ температурой 0^0, составилъ цѣлый рядъ изъ шести и восьми кусковъ льда, которые при движеніи головного двигались за нимъ. Такъ какъ процессъ роста льда происходитъ непрерывно, то вода при 0^0 между двумя плоскостями льда въ данномъ случаѣ тотчасъ же замерзаетъ и спаиваетъ кусочки, такъ что давленіе при такой спайкѣ не требуется.

Между прочимъ г. Barnes приводитъ простую и практически полезную формулу, для вычисленія толщины образованія поверхностнаго льда въ опредѣленный промежутокъ времени, основанную на математическомъ анализѣ, и пригодную для примѣненія къ весьма значительнымъ разницамъ температуры:

$$t = \frac{L\,S\,E}{K\,\Theta}\left(1 + \frac{E}{2}\right).$$

Въ этой формулѣ:

t представляетъ время въ секундахъ, потребное для достиженіе льдомъ толщины E сантиметровъ,

L скрытая теплота—80 калорій,

S плотность льда—0,9166,

K теплопроводность льда—0,0057 на одинъ градусъ разницы температуръ, въ одну секунду, черезъ площадь въ одинъ квадратный сантиметръ.

Θ разность температуръ въ градусахъ Цельсія нижней стороны ледяного поверхностнаго покрова 0^0, и воздуха *).

Практическая провѣрка этой формулы, замѣчаетъ г. Барнесъ, желательна для болѣе совершеннаго разрѣшенія этой задачи.

Въ слѣдующей таблицѣ показано время, потребное для наростанія льда, толщина котораго обозначена въ первомъ столбцѣ, при температурѣ воздуха, данной въ верхней строкѣ; промежуточныя величины могутъ быть интерполированы.

Эта таблица можетъ быть полезна для приблизительнаго расчета толщины слоя льда, который образуется въ любомъ мѣстѣ, если будетъ опредѣлена средняя температура разсматриваемаго періода. Въ зависимости отъ толщины слоя снѣга, придется вводить поправку, опредѣлить которую формулой затруднительно въ виду возможности различныхъ слоевъ снѣжныхъ осадковъ.

ТАБЛИЦА

утолщенія ледянаго покрова.

Толщина льда.	Температура.			
	— 10° С.	— 20° С.	— 30° С.	— 40° С.
1 дюймъ.	2,06 часа.	1,03 часа.	41,2 мин.	30,9 мин.
6 „	1,95 дней.	23,41 „	15,61 час.	11,71 час.
10 „	5,19 „	2,60 дней.	1,73 дней.	1,29 дней.
1 футъ.	7,38 „	3,69 „	2,46 „	1,85 „
2 „	28,60 „	14,30 „	9,53 „	7,15 „
3 „	63,69 „	31,85 „	21,23 „	15,92 „

*) т. е. эквивалентъ температурѣ воздуха.

III.

Относительно методовъ преодолѣнія препятствій, чинимыхъ льдомъ въ инженерныхъ работахъ, преимущественно гидравлическихъ, отъ засоренія пріемныхъ трубъ и дѣйствующихъ частей машинъ въ зимнее время, отъ притока вмѣстѣ съ водой ледянаго сала и шуги, закупоривающихъ рѣшетки и проч., г. Barnes высказываетъ, прежде всего нужно, чтобы пріемники, откуда притекаетъ вода, по возможности, были покрыты ледянымъ покровомъ. Идеальнымъ условіемъ слѣдуетъ считать питаніе гидравлическихъ машинъ изъ рѣкъ съ поверхностью сплошь замерзшей, что наилучшимъ способомъ гарантируетъ отъ образованія доннаго льда и сала, или шуги (вообще мелкихъ кристалловъ льда).

На открытыхъ рѣчныхъ путяхъ значительныя количества рыхлаго льда, отлагаясь подъ мѣстнымъ поверхностнымъ льдомъ, могутъ образовать скопленія въ фарватерѣ, или въ каналѣ, изъ кристалловъ льда, приносимыхъ теченіемъ съ открытыхъ мѣстъ воднаго пути.

Всѣ эти случайности должны быть тщательно взвѣшены въ мѣстѣ пользованія водяной силой, чтобы временная пріостановка дѣйствія не вызвала замедленія въ работѣ связанныхъ съ этой силой сооруженій.

Въ случаѣ построекъ при выходѣ изъ пороговъ, или въ ихъ головѣ, при струѣ открытой воды вверху, должны быть приняты мѣры къ устройству побѣга (headrace) достаточнаго простора, чтобы служить бассейномъ для отложеній льда, который будетъ заноситься туда. Но и здѣсь главное, чтобы этотъ отводъ воды не могъ закупориться въ своемъ устьѣ рыхлымъ льдомъ. Иначе придется прорубать въ самый сильный морозъ поверхностный ледяной покровъ, чтобы очистить свободный ходъ для воды, питающей турбины. Въ такихъ случаяхъ въ прорубленномъ въ поверхностномъ льду каналѣ приходится держать людей, чтобы убирать съ поверхности рыхлый ледъ, который иначе можетъ смерзнуться и снова закрыть поверхность. При этомъ, какъ это ни непріятно, лучше держать каналъ открытымъ, чѣмъ предоставить рыхлому льду, въ скопленіяхъ его подъ поверхностнымъ льдомъ, играть роль фильтра, въ которомъ будутъ осаждаться вновь прибывающія съ теченіемъ кристаллы льда, пока совсѣмъ не закупорятъ ходъ воды.

При прорубкѣ во льду каналовъ примѣняютъ взрывы зарядовъ непосредственно подъ льдомъ и отскочившую при взрывѣ глыбу льда старательно и съ трудомъ извлекаютъ, такъ глубокъ и плотенъ

бываетъ рыхлый ледъ подъ поверхностнымъ льдомъ. Даже послѣ того, какъ такую глыбу льда пустятъ по теченію, необходимы длинные рычаги, чтобы вычерпывать остающійся рыхлый ледъ, который силой сцѣпленія продолжаетъ удерживаться съ массами этого льда, глубже расположенными.

Вообще покровъ льда нуженъ для предупрежденія образованія рыхлаго льда, но разъ онъ уже образовался, то сравнительно большее прибавленіе сала уже не чинитъ дальнѣйшаго вреда, и въ такихъ случаяхъ, какъ выше пояснялось, ледяной покровъ представляется уже даже вреднымъ, а не только безполезнымъ.

Въ случаяхъ засоренія льдомъ извѣстныхъ опредѣленныхъ частей машины и т. п., возможно примѣненіе согрѣвающаго дѣйствія пара, хотя съ перваго взгляда это представляется невозможнымъ, вслѣдствіе большого количества тепла, необходимаго для нагрѣванія воды. Но если вспомнимъ, что тысячная доля одного градуса бываетъ часто достаточна для предотвращенія образованія кристалловъ рыхлаго льда и ихъ прилипанія къ окружающмъ предметамъ, то простой расчетъ покажетъ, что установка искусственно согрѣвающаго прибора находится вполнѣ въ предѣлахъ возможности. Конечно, было бы абсурдомъ нагрѣвать всю массу воды, поступающую въ отдѣленіе машины, такъ какъ въ этомъ состязаться съ природой невозможно, но тепло можетъ быть примѣнено тамъ, гдѣ оно нужно, чтобы предупредить лишь первоначальное примерзаніе кристалловъ льда къ тѣмъ или инымъ поверхностямъ. Главное, не допускать образованія этого слоя, на которомъ, уже очень быстро, будутъ наростать другіе слои. Такіе первоначальные слои легко могутъ образоваться на шлюзныхъ запорахъ, воротахъ, рѣшеткахъ или на металлическихъ частяхъ колесъ.

Обмерзаніе воротъ можетъ имѣть послѣдствіемъ невозможность закрыть ихъ, когда встрѣтится необходимость.

Это случается очень часто, и убытки превышаютъ стоимость установки согрѣвающаго приспособленія. Для оттаиванія обмерзшихъ частей обыкновенно примѣняется въ большомъ количествѣ соль или предоставляютъ эти части самимъ себѣ, ожидая повышенія температуры при измѣнившихся условіяхъ погоды (можетъ быть достаточны двѣ или три тысячныя доли градуса). Но наилучшимъ средствомъ оттаиванія замерзшей рѣшетки представляется дѣйствіе солнечныхъ лучей, тепловые лучи которыхъ поглощаются массой воды и дѣйствіе которыхъ такимъ образомъ, отражается на страдающихъ частяхъ. Вѣроятно это повышаетъ температуру поверх-

ностей металлическихъ частей, къ которымъ примерзъ рыхлый ледъ, и такимъ образомъ, примерзшія къ металлическимъ частямъ массы льда отстаютъ, возстановляя дѣйствіе приборовъ и сооруженій.

Рѣшетки представляютъ изъ себя постоянный источникъ хлопотъ и постоянно приходится держать людей для очистки ихъ скребками.

Въ сильные морозы происходитъ полное ихъ обмерзаніе и прекращеніе притока воды. Обыкновенно рѣшетки представляютъ изъ себя металлическія полосы, опускающіяся въ воду съ оставленіемъ ихъ верхнихъ частей на морозѣ. Такая постройка не должна быть допустима, если только верхнія части рѣшетокъ нельзя чѣмъ-нибудь укрыть, или согрѣвать искусственнымъ путемъ. Во время образованія рыхлаго льда, когда онъ готовъ пристать ко всему на своемъ пути, что имѣетъ температуру ниже точки замерзанія, длинныя желѣзныя полосы рѣшетокъ дѣйствуютъ на кристаллы льда подобно магниту на желѣзныя опилки. Столь крѣпко пристаютъ къ нимъ кристаллы шуги, что въ холодную погоду иначе ихъ невозможно удалить, какъ временной уборкой частей рѣшетки и чистки ихъ солью.

Согрѣваніе уже успѣшно примѣняется въ установкѣ Ottawa Electric Company, устроенной г. Морфи.

Лачинская Компанія (Lachine Company) устроила длинный головной отводъ воды, который сверху совершенно замерзаетъ, и въ пріемникѣ, питаемомъ отъ длинной открытой струи теченія, устроенъ бонъ, чтобы отклонять наибольшее количество льда внизъ по теченію. Такимъ образомъ вода, которой эта компанія пользуется, протекаетъ свыше 2.000 футъ подъ поверхностнымъ льдомъ и сравнительно чиста отъ шуги, когда достигаетъ къ мѣсту гидравлическихъ работъ.

Въ установкѣ Ottawa Power Company дѣлались опыты съ электрическимъ нагрѣваніемъ рѣшетокъ и эти опыты, описанные г. Морфи, въ высшей степени полезны и поучительны: желѣзныя полосы были покрыты твердымъ льдомъ выше ватеръ-линіи и немного ниже ея и по полосамъ пущенъ электрическій токъ. Черезъ десять минутъ послѣ дѣйствія тока ледъ отдѣлялся перочиннымъ ножемъ, тогда какъ сосѣднія полосы, черезъ которыя токъ не былъ пропущенъ, съ крайнимъ затрудненіемъ отдѣлялись тяжелымъ долотомъ.

600 амперъ при 0,3 вольтахъ и 180 уаттахъ были употреблены при этомъ на двѣ желѣзныя полосы. Температура воды и воздуха

была на точкѣ замерзанія. На слѣдующій день, при температурѣ воздуха 15° Фар., ледъ съ одной полосы немедленно растаялъ, при пропускѣ черезъ нее 500 амперъ. Эти два опыта показали, что если небольшой источникъ энергіи постоянно прилагается къ полосамъ, то ледъ на нихъ образовываться не будетъ.

Несомнѣнно, что цѣнные результаты опытовъ Ottawa Power Company дадутъ возможность столь смягчать дѣйствіе рыхлаго льда или шуги, что сдѣлаютъ ихъ въ большинствѣ случаевъ безвредными. Такъ высказывается г. Barnes.

Позволю себѣ упомянуть о лично мною примѣненномъ въ 1904 г. способѣ, на одномъ изъ казенныхъ пароходовъ Вытегорскаго округа путей сообщенія, для обезпеченія дѣйствія пароходной машины.

Въ то время, когда пароходъ «Вознесенье» находился въ безпомощномъ положеніи отъ засоренія льдомъ воздушнаго насоса (куда кристаллы льда проникли вмѣстѣ съ водой изъ пріемной трубы) и, лишенный возможности двигаться при сильномъ морозѣ, долженъ былъ замерзнуть въ пути, мною было предложено воспользоваться имѣвшимся приспособленіемъ для чистки дымогарныхъ трубъ котла паромъ. Такимъ образомъ, при помощи резиноваго шланга, паръ пропустили въ насосъ; весь скопившійся ледъ растаялъ, пароходъ (винтовой) вновь пошелъ въ путь, пробивая себѣ дорогу сквозь быстро крѣпнувшій на морозѣ ледъ и ни разу не останавливаясь для чистки насоса, такъ какъ продолжался постоянный небольшой впускъ пара черезъ резиновую трубку, благополучно успѣлъ выйти на открытое пространство р. Свири.

Въ заключеніе приведемъ нѣкоторыя дополнительныя свѣдѣнія, которыя сообщаетъ г. Barnes, по вопросу о замерзаніи воды.

На каждый футъ углубленія въ водѣ точка замерзанія понижается на 0,00022° С.

Слѣдовательно, на глубинѣ 5 ф. нормальная температура замерзанія на одну тысячную долю градуса ниже, чѣмъ у поверхности. Это означаетъ, что переохлажденные слои воды, если будутъ находиться слишкомъ глубоко, то будутъ уже для той глубины не переохлажденными, а около, или вблизи, соотвѣтствующей тому положенію, точки замерзанія. Кристаллы, которые на поверхности воды въ это время смерзались бы, здѣсь уже смерзаться не будутъ.

Тѣмъ не менѣе эффектъ отъ процесса излученія тепла со дна этимъ явленіемъ не будетъ парализоваться.

Переохлажденіе воды можетъ быть въ нѣкоторомъ размѣрѣ возмѣщено быстрымъ паденіемъ ея. Паденіе воды на одинъ футъ нагрѣваетъ ее на 0,0013° Фар. (0,0007° С.).

Въ концѣ паденія воды температура можетъ значительно повыситься, хотя этому будетъ противодѣйствовать охлаждающее дѣйствіе воздуха. При постепенномъ паденіи первое явленіе вѣроятно будетъ совсѣмъ парализовано вторымъ.

Нѣкоторыя простыя исчисленія количества льда, образуемаго черезъ излученіе, указываютъ на фактъ, что при обыкновенныхъ условіяхъ это должно сильно вліять на образованіе льда. Расчеты приходится строить на положеніяхъ, которыя въ настоящихъ условіяхъ опытныхъ знаній недостаточно еще крѣпки. Математическая обработка явленій радіаціи (излученія) исключительно сложна. Обыкновенно мы находимъ, что отъ объема воды при 32° Фар. при излученія тепла въ атмосферу при 0° Фар. образуется только около $4^1/_2$ фунтовъ льда на квадратный ярдъ въ часъ. Это составитъ прибавленіе къ тому количеству льда, которое образуется отъ чисто поверхностнаго соприкосновенія съ холоднымъ воздухомъ. Если разсмотримъ излученіе въ пространство при абсолютномъ нулѣ температуры, то найдемъ, что ночью должно образоваться 80 фунтовъ на квадратный ярдъ въ 1 ч. Соотносительно съ поглощеніемъ тепловыхъ лучей водой, по опытамъ Melloni, получимъ одинъ дюймъ плотнаго льда, который подлежитъ образованію на днѣ рѣки въ періодъ отъ 6 до $6^1/_2$ часовъ. Какъ уже упоминалось, вода болѣе прозрачна для длинныхъ тепловыхъ лучей, и потому количество льда должно быть больше, но даже ограничиваясь 11% передачи, какъ было найдено Melloni, найдемъ, что при этихъ условіяхъ должно образоваться значительное количество льда.

Расчетъ количества тепла, передаваемаго землей дну рѣки только черезъ проводимость, показываетъ, что въ одинъ часъ его будетъ достаточно только, чтобы расплавить слой льда въ одну тысячную долю дюйма толщиной.

Было бы очень интересно измѣрить скорость воды въ мѣстахъ образованія доннаго льда и сравнить ее съ извѣстной размывающей способностью воды, текущей по руслу изъ разныхъ матеріаловъ. Мы знаемъ, что донный ледъ чаще образуется на темномъ камнѣ, чѣмъ на пескѣ или гравіи, въ непосредственномъ съ нимъ сосѣдствѣ. Приводится слѣдующая таблица профессора H. T. Bovly.

Грунтъ ложа рѣки.	Скорость воды у дна въ футахъ въ секунду при которой дно размывается.
Рыхлая почва	0,26
Глина	0,52
Крупный песокъ	1,02
Гравій	2,30
Щебень	3,08
Мягкій сланецъ	4,90
Слоистая скала	6,00
Твердая скала	10,3

Хорошо извѣстно, что скорости отъ 2 до 3 футъ въ секунду препятствуютъ образованію водорослей. Кажется очень вѣроятнымъ, что донный ледъ не будетъ въ состояніи удержаться на грунтѣ дна рѣки, гдѣ скорость превышаетъ размывающую (грунтъ) скорость. Излученіе однако можетъ это выполнить на твердой, или слоистой скалѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ существованіе такого слоя неподвижной около дна воды (skin) представляется возможнымъ только въ случаѣ, если около дна вода течетъ струями.

Если вопросъ о существованіи упомянутаго, неподвижнаго около дна, слоя воды, что нѣкоторыми авторитетами отрицается, разрѣшится въ будущемъ утвердительно, то такой слой, подверженный вліянію излученія, вѣроятно окажется подверженнымъ замерзанію, образуя базисъ для наростанія рыхлаго льда. При условіяхъ скорости теченія, выше размывающей скорости возможно, что такой неподвижный придонный слой воды не существуетъ.

Теперь, послѣ приведенныхъ соображеній и изслѣдованій профессора г. Барнеса, будетъ интересно перейти къ разсмотрѣнію сообщаемыхъ имъ условій замерзанія и образованія заторовъ на р. св. Лаврентія.

IV.

Приводимыя ниже, по даннымъ г. Барнеса, извлеченія изъ отчета Монреальской комиссіи американскихъ инженеровъ о чудовищныхъ заторахъ изъ рыхлаго льда, или шуги, на р. св. Лаврентія, въ Сѣверной Америкѣ, должны убѣдить сомнѣвающихся не только въ принципіальной возможности образованія такихъ заторовъ, но и въ томъ, что твердый поверхностный ледъ, кромѣ случаевъ исключительныхъ, въ общемъ процессѣ образованія зимнихъ заторовъ льда значенія не имѣетъ.

Рѣка св. Лаврентія особенно интересна еще тѣмъ, что имѣетъ большое сходство съ р. Невой, превышая ее размѣрами, и вслѣдствіе сходства гидрографическихъ условій, одна и та же причина образованія въ значительныхъ размѣрахъ рыхлаго льда, въ видѣ доннаго льда и шуги, видимо вызываетъ тѣ-же самыя послѣдствія образованія зимнихъ заторовъ льда.

При разстояніи отъ берега до берега въ одну милю ($1^3/_4$ версты) и ширинѣ фарватера въ полмили, р. св. Лаврентія имѣетъ глубину фарвартера въ 30 футъ, но, не смотря на большой объемъ воды (наименьшій расходъ воды выше оз. св. Петра 315.000 тысячъ куб. футъ въ секунду), предѣлъ колебанія высшаго и низшаго уровня ея составляетъ только 6 футъ (или $^1/_{10}$ колебанія р. Огіо въ Цинцинатти). Превышеніе этого предѣла, напр. около г. Монреаля, происходитъ только зимой и является слѣдствіемъ заторовъ льда.

Въ своемъ отчетѣ комиссія, образованныя послѣ наводненій 1886 г. въ г. Монреалѣ, сообщаетъ характеристику процесса образованія ледостава.

«Рѣка св. Лаврентія *) не подвержена тѣмъ, въ обычномъ смыслѣ слова, наводненіямъ, которыя происходятъ отъ избытка воды и которыя наблюдаются на рѣка Огіо и Миссисипи. Наводненія, съ которыми на ней приходится считаться, имѣютъ совершенно мѣстный характеръ и происходятъ не отъ избытка воды, а отъ льда. Ограничиваются наводненія лишь незначительнымъ протяженіемъ частей рѣки.

Хотя наводненія эти причиной своей имѣютъ образованіе льда, но они отличаются отъ подобныхъ же наводненій въ южныхъ рѣкахъ, которыя обыкновенно бываютъ кратковременны и даже болѣе разрушительны, проистекая только отъ вскрытія рѣкъ и ледохода. На р. св. Лаврентія, напротивъ того, существуетъ постоянное повышеніе уровня рѣки въ подверженныхъ наводненію участкахъ рѣки, хотя объемъ воды при этомъ уменьшается. Уровень рѣки, хотя и не поддерживается на максимальной высотѣ, тѣмъ не менѣе повышается въ теченіе всей зимы. Хотя это случается каждую зиму и пристани г. Монреаля бываютъ затоплены въ теченіе 4 мѣсяцевъ, но зимній подъемъ рѣки не всегда сопровождается такъ называемымъ наводненіемъ. Рѣка достигаетъ своего высшаго зимняго уровня отъ закупорки льдомъ въ декабрѣ или январѣ нов. стиля, и

*) Вытекаетъ изъ оз. Онтаріо и протекаетъ черезъ оз. С.-Луи и др.

ея высшій весенній уровень, проистекающій отъ взлома льда, т. е. вскрытія и ледохода, бываетъ въ мартѣ и апрѣлѣ. Весеннее вскрытіе аналогично вскрытію другихъ рѣкъ въ томъ отношеніи, что сопровождается ледоходомъ. Но указанное зимнее повышеніе уровня свойственно только болѣе сѣверпымъ рѣкамъ, на которыхъ оно достигаетъ размѣровъ наводненія. Причиной тому бываетъ необычное скопленіе льда, закупоривающаго фарватеръ и вызывающаго временный подъемъ воды въ рѣкѣ, пока она не откроетъ себѣ свободный ходъ, послѣ чего рѣка устанавливается на своемъ зимнемъ уровнѣ.

Сила теченія воды фактически обусловливаетъ образованіе сплошного ледяного покрова. Ледоставъ, образующійся при выходѣ изъ пороговъ, т. е. внизу ихъ, гдѣ рѣка (въ плесѣ) расширяется, наступаетъ, т. е. выдвигается въ сторону открытыхъ пороговъ, или отодвигается и отступаетъ отъ открытой воды, въ прямомъ соотношеніи съ суровостью зимы. Зимній сплошной ледоставъ наступаетъ только тогда, когда твердый плавучій ледъ встрѣтитъ установившійся ниже пороговъ ледяной покровъ.

Ледяной покровъ фарватера представляетъ изъ себя шероховатую поверхность вверху и внизу. Всѣ промежутки его заполняются рыхлымъ льдомъ (frazil), который подворачивается внизъ теченіемъ, но очень скоро всплываетъ и примерзаетъ къ нижней поверхности ледяного покрова рѣки. Скопленіе рыхлаго льда бываетъ такъ велико и пріобрѣтаетъ такую твердость, что управленіемъ желѣзной дороги прокладывался желѣзнодорожный по льду путь, по которому совершали движеніе черезъ рѣку груженые товарные вагоны.

Скопленіе массъ рыхлаго льда (frazil—шуга), хотя и состоитъ изъ губчатой массы, насыщенной водой, тѣмъ не менѣе представляетъ изъ себя столь же существенное препятствіе теченію рѣки, по отношенію къ мѣсту скопленія массъ, какое представила бы находящаяся въ томъ же мѣстѣ скала.

О степени стѣсненія русла, которое вызывается скопленіемъ рыхлаго льда, можно вывести заключеніе по слѣдующему факту. Могучая р. св. Лаврентія принуждена бываетъ подняться зимой на 15 футъ, въ пунктѣ ниже г. Монреаля, прежде чѣмъ проложитъ себѣ достаточно свободный путь чрезъ цѣлыя мили чудовищныхъ бугорчатыхъ скопленій рыхлаго льда, въ покрытой поверхностнымъ льдомъ внутренности рѣки. Рѣка у г. Монреаля подвержена явленіямъ, связаннымъ съ замерзаніемъ ея отъ морского устья, опредѣляемаго достиженіемъ приливной съ моря волны,

до подножія Lachine Rapids (Лачинскихъ пороговъ), на протяженіи 80 миль, и, за исключеніемъ полыней, вся поверхность ея покрыта льдомъ.

Но выше Лачинскихъ пороговъ зимній уровень повышается льдомъ только на короткомъ промежуткѣ противъ Cornwall и Beauharnois.

Все остальное пространство, заключающее въ себѣ и свободные отъ льда участки рѣки и покрытыя льдомъ озера, за рѣдкими мѣстными исключеніями, удерживаетъ постоянный уровень. Исключенія имѣются тамъ, гдѣ ледяная подпруда можетъ случиться въ съуженныхъ частяхъ фарватера (выше Корнъуэльскаго канала) въ очень жестокія зимы, или тамъ, гдѣ ледяной помостъ образуется искусственно отпиливаніемъ и заворачиваніемъ, поперекъ рѣки и теченія, береговыхъ льдинъ, или достаточнаго размѣра забережнаго льда съ материка на острова, чтобы установить между ними сообщеніе.

Эти мосты не вліяютъ на уровень рѣки въ мѣстахъ своего расположенія, но, задерживая плывущій ледъ, они могутъ выдвинуть мѣстный ледоставъ вверхъ противъ теченія, къ пунктамъ съ болѣе мелкой глубиной и съ большей быстротой теченія, гдѣ означенныя условія могутъ вызвать образованіе подводнаго затора льда, или ледяной подпруды. Участки открытой воды имѣютъ протяженіе около 40 миль между Cornwall и Prescott, около 15 миль между озерами St. Francis и St. Louis и около 10 миль между покрытымъ льдомъ участкомъ послѣдняго озера и концомъ Лачинскихъ пороговъ.

Обыкновенно постоянный зимній заторъ, или ледяная запруда, не образуются тамъ, гдѣ непосредственно внизу имѣется открытая поверхность рѣки (подобно заторамъ при вскрытіи отъ льда), но постоянный зимній подъемъ въ Cornwall и Beauharnois происходитъ въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и въ Монреалѣ, а именно при соединеніи открытой отъ льда части рѣки съ закрытой льдомъ и сильнаго теченія со сравнительно спокойной водой.

Въ началѣ зимы существуетъ полное основаніе полагать, что ледъ, образовавшійся на высотѣ Prescott, достигаетъ Монреаля, или проходитъ въ море прежде, чѣмъ рѣка преграждается ледоставомъ въ озерахъ St. Francis и St. Louis. Но когда озера и эти рѣка выше Prescott замерзнутъ, то мѣстное скопленіе льда въ Cornwall, Beauharnois и у г. Монреаля ограничивается количествомъ, которое можетъ быть доставлено пространствами открытой воды выше каждаго изъ этихъ участковъ. Если бы не было этихъ озеръ, все зимнее количество образовавшагося льда вѣроятно скоплялось бы около

Монреаля и по всей вѣроятности сдѣлало бы значительную часть болѣе низкихъ береговъ р. Св. Лаврентія столь же необитаемой, какъ теперь Ile Ronde, вызывая постоянное затопленіе ихъ въ зимнее время. Озера эти обыкновенно окончательно замерзаютъ въ декабрѣ. Въ общемъ послѣдовательность въ наступленіи ледостава и сопровождающихъ его явленій слѣдующая:

Въ концѣ ноября образованіе льда начинается у береговъ материка и острововъ и на отмеляхъ, причемъ послѣднія, въ зависимости отъ стоянія рѣки, бываютъ болѣе или менѣе многочисленны и значительны.

Забереги выступаютъ и утолщаются по мѣрѣ охлажденія воды, если только вѣтеръ, который въ такомъ большомъ пространствѣ воды обыкновенно сопровождается прибылью воды (with more or less sea), не взломаетъ забереговъ и не унесетъ эту ледяную береговую кайму внизъ по теченію. Если забереги уже достаточно крѣпки, чтобы противустоять легкому волненію, то оно еще болѣе ихъ утолщаетъ и укрѣпляетъ.

По мѣрѣ того,какъ забереги расширяются и выступаютъ на главный фарватеръ, легкій плавучій ледъ подтягивается подъ нихъ останавливается отъ тренія и наконецъ примерзаетъ къ нижней поверхности ихъ.

Когда, при усиливающихся холодахъ, вода на фарватерѣ достаточно охладится (обыкновенно при нулѣ градуса), то вся поверхность рѣки покрывается движущимся льдомъ особаго характера, извѣстнаго подъ именемъ «ftazil» и «anchor ice» (т. е. «шуги», «доннаго льда»). Ледъ этотъ, темно-свинцоваго оттѣнка, становится, когда всплываетъ, съ поверхности бѣлымъ, подобно осадку снѣга, и плаваетъ клочками различныхъ размѣровъ, во внутренности которыхъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, заключается незамерзшая вода. Въ нѣкоторыхъ такихъ льдинахъ заключаются плитки, или листы, настоящаго прозрачнаго льда, видимо сформированные въ затишьѣ спокойной воды, образуемой надводными выступами плавающихъ льдинъ «свиного сала» (какъ также называется) упомянутая выше формація рыхлаго льда, въ другихъ могутъ быть найдены куски льда отъ забереговъ и отмелей, которые увлекались при поступательномъ движеніи рыхлаго льда внизъ. Собственно, этотъ ледъ можно было бы наименовать «current-ice», т. е. «льдомъ на теченіи», въ отличіе отъ льда, находящагося на днѣ, такъ какъ онъ образуется только при достаточной скорости теченія, или при волненіи отъ вѣтра, не допускающихъ поверхность до замерзанія. При нѣкоторой температурѣ все незамерзшее пространство рѣки покры-

вается этимъ льдомъ (т. е. шугой), и періодъ начала зимы опредѣляется наличіемъ непрерывнаго открытаго фарватера среди забереговъ льда (гдѣ находится наибольшая глубина и наибольшая скорость теченія) между Prescott и предѣломъ, куда достигаетъ приливная морская волна на разстояніи 190 миль.

Съ момента наступленія этого «ледяного (сальнаго) наводненія» (фигуральное выраженіе) до задержки части его закрытіемъ озеръ выше Монреаля можетъ пройти недѣля или двѣ, и съ того времени, какъ средняя скорость теченія между Prescott и Монреалемъ, образуемая паденіемъ свыше 200 футъ на протяженіи немного большемъ 100 миль, выразится приблизительно двумя милями въ часъ, во многія зимы, движущійся по теченію ледъ можетъ пройти Монреаль, чтобы зазимовать ниже его.

Обильное и непрерывное движеніе «свиного сала», смѣшаннаго съ большимъ или меньшимъ количествомъ забережнаго льда, получающаго прибавленіе отъ обоихъ видовъ поверхностнаго и рыхлаго льда, образующихся во всѣхъ частяхъ открытаго фарватера, задерживается и затѣмъ прерывается въ открытомъ фарватерѣ, проходящемъ чрезъ озеро St. Peter, гдѣ впервые чувствуется вліяніе приливной волны.

Нагромождаясь поперекъ выхода изъ этого озера и примыкая къ мелямъ, которыми ограничивается тамъ судоходный фарватеръ, массы этого льда быстро смерзаются, вслѣдствіе чего и происходитъ ледоставъ.

Въ то же время забереги, утолщенные морозомъ и снѣгомъ, утягчаемые таяніемъ или случайными дождями и заполняемые снизу рыхлымъ льдомъ, начинаютъ выступать на фарватерѣ, увеличивая постепенно ледяную поверхность.

Подъемъ воды поднимаетъ забереги и часто отдѣляетъ ихъ отъ берега. При благопріятныхъ условіяхъ вѣтра и теченія, они двигаются внизъ по теченію, пока не останавливаются образовавшимся нижнимъ ледоставомъ.

Послѣ закрытія, дѣйствіемъ суровой погоды, озера St. Louis, когда съ его закрытой поверхности ледъ внизъ болѣе не движется, можетъ случиться оттепель, облегчаемая сѣверо-восточнымъ вѣтромъ, которая ломаетъ ледъ вездѣ, кромѣ углубленныхъ въ берегъ бухтъ (или затоновъ) и направляетъ его большими льдинами черезъ Lachine Rapids (Лачинскіе пороги), гдѣ онъ болѣе и менѣе ломается.

Съ наступленіемъ холодной погоды поверхность снова покрывается рыхлымъ и плиточнымъ льдомъ, забереги поднимаются и ло-

маются и три вида льда (рыхлаго, плиточнаго и забережнаго) двигаются по теченію къ нижнему ледоставу.

Только послѣ встрѣчи крѣпкаго плывущаго льда (крѣпнетъ на морозѣ) съ нижнимъ мѣстнымъ ледоставомъ начинается общій ледоставъ.

При первоначальной фазѣ ледостава, какъ уже было сказано, плывучія льдины тонки и часто ставятся теченіемъ на ребро, выступая вертикально и въ сторону выше и ниже поверхности на нѣсколько футъ, что происходитъ и при нажатіи на выступающія кромки твердыхъ забереговъ, которые выдерживаютъ давлечіе спускающагося «ледяного наводненія».

Подводное движеніе рыхлаго льда (frazil), или «шуги», варіируетъ въ зависимости отъ прибыли его сверху, что зависитъ отъ погоды, и движеніе вверхъ ледостава находится въ зависимости отъ притока шуги, но не вездѣ ему пропорціонально, такъ какъ болѣе шуги уносится внизъ подъ ледяной покровъ тамъ, гдѣ теченіе сильно, а ледъ тонокъ, и менѣе — гдѣ ледяной покровъ толстъ, или теченіе слабо.

При непрерывной холодной погодѣ, вызывающей обильный притокъ движущагося льда, подъемъ ледостава вверхъ между озеромъ St. Peter и г. Монреалемъ идетъ быстро, со среднею суточною скоростью въ четыре мили, пока не достигнетъ устья потока (притока) St. Marry Current. Рѣка на протяженіи этихъ 45 миль имѣетъ среднее паденіе 1,06 дюйма на милю и средняя скорость теченія на фарватерѣ лѣтомъ достигаетъ $2^1/_4$ мили въ часъ.

Скорость противъ города увеличивается потокомъ St. Marry.

Лѣтнее паденіе рѣки отъ Victoria Bridge до устья потока St. Marry выражается 9 футами на 3 мили, а скорость теченія отъ 4 до 8 миль въ часъ. Поступательное движеніе ледостава вверхъ прекращается и задерживается не только мягкой погодой, но задержка можетъ быть и отъ образующихся вверху, между берегами, заторовъ, вызывающихъ временный ледоставъ, между которымъ и постояннымъ внизу ледоставомъ остается болѣе или менѣе значительное пространство открытой воды. Пространство это обыкновенно заполняется при подвижкѣ внизъ верхняго затора, отъ увеличивающагося давленія на него. Поступательное движеніе льда внизъ можетъ совершаться со скоростью отъ одной съ четвертью мили до двухъ миль въ часъ, а подъемъ вверхъ ледостава со скоростью $1^1/_2$ мили въ часъ, въ обычное время.

Выше Varennes (пунктъ на 12 миль ниже Монреаля) закупорка

фарватера возрастаетъ и вода подымается. Все это возростаетъ до г. Монреаля. Въ добавокъ къ постепенному повышенію уровня отъ образованія забереговъ, ледостава и плывущаго льда, особенный временный подъемъ или прибыль воды наблюдается по мѣрѣ приближенія снизу ледостава, но въ короткій срокъ послѣ остановки льда и образованія постояннаго сплошнаго ледостава вода падаетъ приблизительно на величину 2 футъ*).

«Скопленія рыхлаго льда (frazil), заключаетъ комиссія, представляются наиболѣе важнымъ обстоятельствомъ, вызывающимъ наводненія, и единственной причиной ихъ образованія. Однимъ словомъ, если-бы приходилось имѣть дѣло только съ ледяными полями и забережнымъ льдомъ, безразлично какъ-бы часто они не ломались или отламывались отъ береговъ вѣтромъ или оттепелью, то не было-бы наводненій, такъ какъ недопустимо, чтобы въ рѣкѣ въ милю шириной, съ фарватеромъ шириною въ полъ-мили, при 30 футахъ глубины, достаточное количество льда могло-бы быть погружено въ воду, чтобы вызвать такой подъемъ воды, слѣдствіемъ котораго было-бы наводненіе".

Ледяныя поля и забережный ледъ имѣютъ склонность плавать и съ большой силой противятся погруженію, тогда какъ frazil (шуга) и anchor-ice (донный ледъ) имѣютъ склонность погружаться при самомъ ничтожномъ случаѣ и слѣдовать въ погруженномъ видѣ по фарватеру, слѣдуя всѣмъ изгибамъ струй теченія, пока не приткнутся на мель, или не удержатся подъ поверхностью ледянаго покрова рѣки. Здѣсь рыхлый ледъ примерзаетъ, образуя основанія для дальнѣйшаго приращенія тѣхъ-же матеріаловъ, пока этотъ губчатый наростъ, во многихъ случаяхъ, не достигнетъ плотности поверхностнаго льда, къ которому

*) Интересно сопоставить это наблюденіе со сдѣланнымъ мною въ первой главѣ этой статьи выводомъ о всплываніи массъ доннаго льда на р. Невѣ въ короткій срокъ послѣ установленія ледостава, отчего, въ началѣ, дѣйствительно должно наблюдаться повышеніе уровня воды, отъ стѣсненія фарватера на болѣе быстромъ мѣстѣ теченія, у поверхности, а затѣмъ, когда поверхностный ледъ, отъ давленія всплывающаго доннаго льда, вмѣстѣ съ приростомъ доннаго льда, приподымется, естественно должно произойти и пониженіе уровня воды, которое замѣчается и на р. Св. Лаврентія. Наростаніе доннаго льда передъ ледоставомъ можетъ маскировать въ нѣкоторыхъ случаяхъ убыль воды отъ замерзанія родниковъ и атмосферныхъ осадковъ на поверхности бассейна, питающаго рѣку. Случаи подъема горизонта воды отъ этой причины, вызывавшія неожиданныя подтопленія въ мѣстахъ гидротехн. работъ, не смотря на перемычки, приведены въ брошюрѣ моей 1904 г.

онъ прикрѣпляется*). Въ виду большого сходства, въ гидрографическомъ отношеніи, р. Невы съ р. св. Лаврентія, при одинаковомъ истеченіи изъ озеръ, сходной глубинѣ и наличіи Лачинскихъ пороговъ, выше г. Монреаля, подобно тому какъ Ивановскіе пороги находятся выше С.-Петербурга, причемъ, какъ въ Монреалѣ, такъ и около Петербурга, отъ подводныхъ заторовъ льда или ледяныхъ запрудъ, образуются подъемы воды и наводненія, представляетъ особенно исключительный интересъ слѣдующая часть отчета Монреальской комиссіи, которая разбираетъ вопросъ о „донномъ" льдѣ и о составѣ заторовъ льда. Комиссія подчеркиваетъ, что термины «anchor-ice» и «frazil» (буквально, въ переводѣ съ англійскаго языка, frazil ice можетъ быть выраженъ понятіемъ «шлаковиднаго» льда, подобнаго ноздреватому шлаку, получаемому въ отбросахъ на желѣзодѣлательныхъ заводахъ) безразлично примѣняются къ тому же самому ледяному матеріалу, но первый терминъ, по мнѣнію комиссіи, очевидно, болѣе относится къ этому льду, когда онъ находится на днѣ рѣки.

«При сравнительно умѣренныхъ холодахъ, заключаетъ комиссія, значительное количество льда образуется на поверхности открытой воды рѣки и никогда не достигаетъ дна, но еще большее количество, въ томъ-же районѣ и съ значительно большей быстротой, прикрѣпляется къ дну, но только при наиболѣе холодной погодѣ. Отдѣленіе отъ дна происходитъ съ наступленіемъ повышенной температуры. Въ одномъ отношеніи оба наименованія льда одинаковы, а именно въ томъ, что оба вида льда составляютъ исключительно продуктъ открытой воды. Ни тотъ, ни другой видъ нигдѣ и ни при какихъ обстоятельствахъ не образуются при покрытой льдомъ поверхности рѣки. Хотя оба вида льда появляются въ началѣ зимы на значительномъ пространствѣ ниже Лачинскихъ пороговъ, но дальнѣйшее образованіе этого рода (рыхлаго) льда прекращается одновременно съ установленіемъ ледостава (ice bridge), гдѣ бы онъ ни установился. «Frazil», какъ отличное отъ доннаго льда подраздѣленіе, образуется на всей неза-

*) Такимъ образомъ, твердость (плотность) шуги или рыхлаго ранѣе льда въ заторѣ, напр. на р. Вислѣ, изображенномъ въ первой главѣ и изслѣдованномъ зимой, могла произойти отъ отвердѣнія съ поверхности, при морозѣ, а также отъ сжатія массы рыхлаго льда поверхностнымъ льдомъ, при спадѣ воды, въ мѣстахъ, гдѣ вся масса льда получала упоръ въ грунтъ, вслѣдствіе описанной выше способности частицъ льда смерзаться, т. е. спаиваться, при плотномъ соприкосновеніи въ водѣ, при 0°.

мерзшей поверхности выше и ниже Лачинскихъ пороговъ, между Prescott и приливной водой (съ моря), вездѣ, гдѣ имѣется значительное теченіе или волненіе, мѣшающія образованію забереговъ (bordage ice), тогда какъ «anchor ice», т. е. донный ледъ (обозначающій понятіе льда «уякорившагося» на днѣ рѣки) не появляется въ глубинѣ воды до установленія въ ней 0° температуры. Постепенное пониженіе температуры воздуха вызываетъ пониженіе температуры всей массы воды до точки замерзанія, или даже ниже ея, и тогда она наполняется ледяными иглами отъ поверхности до дна и отъ дна до поверхности, вращательнымъ движеніемъ текучей воды. Соприкосновеніе этой ледяной воды съ дномъ рѣки приводитъ его въ условіе, при которомъ эта форма льда присоединяется къ дну и подобно ледяному мху начинаетъ быстро на немъ наростать, напоминая какъ-бы ледянаго полипа, достигая роста въ нѣсколько футъ толщины въ періодъ сильнаго холода, который можетъ продолжаться отъ 3 до 5 дней.

Указывая на весьма красивый древовидный ростъ доннаго льда, въ видѣ водоросли, г. Барнесъ поясняетъ характеристичный бурый цвѣтъ льда осажденіемъ въ порахъ его типы съ водными инфузоріями, которыя, во взятой пробѣ воды со льдомъ, при таяніи въ сосудѣ опускаются на дно его.

Съ наступленіемъ мягкой погоды, ледъ этотъ отстаетъ отъ дна, часто поднимая съ собой камень и гравій (отъ осадка которыхъ Монреальской гавани приходилось много страдать), и можно наблюдать массы темноватаго цвѣта, выскакивающія съ шипѣніемъ и значительной силой на всемъ протяженіи открытой поверхности воды.

Массы эти приподымаются на футъ или на два выше поверхности воды и падаютъ назадъ, выдаваясь затѣмъ изъ воды лишь на нѣсколько дюймовъ своими надводными плавучими частями. Изъ поверхностной части льдинъ вода быстро вытекаетъ, и онѣ бѣлѣютъ, подобно снѣгу. Рѣка *) пріобрѣтаетъ тогда какъ бы видъ луга, усѣяннаго низкими копнами бѣлаго сѣна, который проплываетъ Лачинскіе пороги и погружается подъ стоящій неподвижно ледъ внизу. Это (фигурально говоря эта «жатва») повторяется нѣсколько разъ въ теченіе зимы, причемъ число этихъ «жатвъ» (т. е. приносимыхъ порцій рыхлаго льда) зависитъ отъ степени суровости зимы.

Одной изъ главныхъ цѣлей комиссіи было удостовѣриться, что дѣлается съ доннымъ льдомъ (anchor-ice), также какъ и съ ледя-

*) По тексту отчета комиссіи.

нымъ саломъ (frazil), послѣ погруженія ихъ теченіемъ подъ ледяной покровъ.

Въ ледяномъ покровѣ были сдѣланы проруби и линія поперечныхъ сѣченій, числомъ свыше 50, были промѣрены между озеромъ св. Петра (lake St. Peter) и Лачинскими порогами.

Сквозь эти проруби были измѣрены толщина плотнаго (поверхностнаго) и рыхлаго льда, также какъ и глубины воды. Шуга (ледяное сало), или донный ледъ (frazil or anchor ice) всегда находились непосредственно подъ плотнымъ льдомъ, прикрѣпленными къ его нижней части. Плотный ледъ (покровъ рѣки) приходилось всегда прорубать насквозь, но тотчасъ же, какъ достигали рыхлаго льда (frazil), вода (въ немъ заключавшаяся) поднималась къ своему зимнему уровню.

Чтобы достигнуть чистой воды, приходилось продавливать шестъ сквозь рыхлый ледъ, а тяжелое промѣрное грузило сильно вздергивать, чтобы пропустить его до воды и дна, такъ какъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, отложенія простирались до дна. Первыя пробитыя поперечныя сѣченія показали, что отложенія рыхлаго льда ниже Varennes, въ количественномъ отношеніи, были сравнительно не велики. Тогда сѣченія были взяты выше Varennes, гдѣ чаще находились значительныя скопленія. Большой объемъ рыхлаго льда былъ найденъ выше Longue Pointe, и потому наибольшее число поперечныхъ сѣченій было взято выше этого пункта.

Наибольшее количество рыхлаго льда, по отношенію къ объему свободной воды, было найдено въ Laprairie Basin (по видимому въ плесѣ Laprairie). Здѣсь рыхлаго льда было болѣе чѣмъ воды, въ пропорціи ста семидесяти мильоновъ кубическихъ ярдовъ рыхлаго льда, по отношенію къ ста тридцати милліонамъ кубическихъ ярдовъ воды.

Между Ile Ronde и Longue Pointe было найдено слѣдующее наибольшее количество рыхлаго льда, въ которомъ количество рыхлаго льда было вдвое меньше количества воды, а именно въ пропорціи сорока пяти милліоновъ кубическихъ ярдовъ рыхлаго льда, по отношенію къ девяносто одному милліонамъ кубическихъ ярдовъ воды.

Слѣдующая, наиболѣе заполненная, часть рѣки находилась между Victoria Bridge и Ile Ronde, гдѣ количество рыхлаго льда составляло 30%.

Слѣдующій, въ порядкѣ скопленій, участокъ заключался между Longue Pointe и Pointe aux Trembles, гдѣ рыхлый ледъ составлялъ 27% чистой воды.

Послѣдняя измѣренная секція находилась между Pointe aux Trembles и Varennes, гдѣ рыхлый ледъ сократился до величины не много больше 6°/o чистой воды.

Эти пропорціи льда и воды ограничены только рыхлымъ льдомъ, и не заключаютъ въ себѣ плотный ледяной покровъ рѣки, который, отягченный снѣгомъ, изморозью и дождемъ, погруженъ ниже зимняго уровня воды и такимъ образомъ вліяетъ на вытѣсненіе воды въ наиболѣе широкомъ мѣстѣ.

Въ этихъ сравнительныхъ количествахъ не принята въ счетъ вода, которой насыщенъ рыхлый ледъ, находящійся въ взвѣшенномъ состояніи на фарватерѣ рѣки, подпираемой снизу давленіемъ чистой воды.

Въ случаяхъ упора рыхлаго льда въ грунтъ и сжатія его вѣсомъ плотнаго льда (покрова рѣки), надъ нимъ находящагося, количество воды, проникающей въ рыхлый ледъ, весьма незначительно, и эти упоры въ грунтъ обозначаются бугорками на поверхности льда въ мѣстахъ, гдѣ рыхлый ледъ выпираетъ вверхъ покровъ рѣки, тогда какъ въ другихъ мѣстахъ ледяной покровъ бываетъ пониженъ отъ спада воды.

Наибольшая толщина скопленія рыхлаго льда, ниже Монреаля, была найдена непосредственно противъ Longue Pointe.

Здѣсь подводный наростъ рыхлаго льда, отъ нижней поверхности ледяного покрова, простирался въ глубину на 35 футъ.

Та же толщина рыхлаго льда наблюдалась у подножія (при выходѣ) Лачинскихъ пороговъ.

Въ этихъ мѣстахъ рыхлый ледъ почти достигаетъ дна, но, конечно, не по всему сѣченію поперекъ фарватера, — иначе рѣка вышла бы изъ береговъ.

Въ Longue Pointe, противъ мѣста наибольшаго скопленія льда, глубина главнаго фарватера около 60 футъ, съ висящимъ рыхлымъ льдомъ въ 20 футъ толщины, но съ чистымъ подъ нимъ ходомъ воды около 40 футъ глубиной.

Что подобное подводное скопленіе рыхлаго льда въ положеніяхъ, наиболѣе благопріятствующихъ его размѣщенію, ограничено только глубиной воды, представляется вѣроятнымъ изъ результатовъ промѣровъ комиссіи выше Beauharnois, гдѣ громадное зимнее движеніе рыхлаго льда, между lake St. Francis и lake St. Louis, останавливается тотчасъ-же съ образованіемъ на послѣднемъ озерѣ сплошнаго ледостава.

Здѣсь было найдено подводное скопленіе рыхлаго льда свыше

80 (восемьдесятъ) футъ глубиной, оканчивающееся за нѣсколько футъ отъ дна (см. чертежъ).

По обмѣру поперечныхъ сѣченій, въ мартѣ мѣсяцѣ, количество рыхлаго льда, между Лачинскими порогами и Varennes, исчислялась въ 253 милліоновъ кубическихъ ярдовъ.

Помимо рыхлаго льда, тамъ заключалось еще сто милліоновъ кубическихъ ярдовъ поверхностнаго льда, что составляетъ общее, въ участкѣ, количество льда, свыше 350 милліоновъ кубическихъ ярдовъ.

Изъ этого количества, 220 милліоновъ находились выше линіи между Moffatt's Island и Windmill Point, (повидимому, около г. Монреаля), но такъ какъ ледъ, въ части своей, вышелъ изъ Laprairie basin предъ разливомъ воды и вызвалъ подвижку льда противъ города Монреаля, то около половины изъ этихъ 220 милліоновъ куб. ярдовъ льда должны были снестись внизъ за Ile Ronde, до начала ледохода и такимъ образомъ способствовали образованію наводненія въ апрѣлѣ.

Количество мартовскаго льда 1887 г., вѣроятно, превышаетъ среднія зимнія величины, но наблюденія температуры показали, что за суровыми зимами наводненія не слѣдуютъ.

Подобное же и даже большее количество рыхлаго льда можетъ быть въ нѣкоторые годы, въ которые наводненій не замѣчается, въ случаѣ иного распредѣленія этого льда, или когда этотъ ледъ двигается въ иномъ порядкѣ.

Комиссія старалась установить, было-ли какое-нибудь уменьшеніе въ объемѣ рыхлаго льда прежде, чѣмъ онъ уплылъ, и съ этой цѣлью проиводились повѣрочные промѣры до послѣдняго дня, когда измѣренія можно было безъ опасности производить. Болѣе теплая грунтовая вода можетъ притекать и за нѣсколько дней до ледохода. Но, повидимому, она не имѣла вліянія ни на рыхлый ледъ, ни на воду въ фарватерѣ, которая сохраняла температуру около точки замерзанія, почти до самаго конца.

Такимъ образомъ въ апрѣлѣ, въ періодъ разлитія воды, масса льда скопилась въ этой части рѣки, принудивъ ее подняться свыше 9 футъ, сравнительно съ тѣмъ, что было при установленіи ледостава въ Hochelaga, въ концѣ декабря 1886 г. Вѣроятно, третья часть отъ количества около 200 милліоновъ кубическихъ ярдовъ льда спустилась внизъ за St. Helen's Island, изъ участка рѣки между ними и Lachine Rapids.

Это было такое препятствіе, сравнительно съ которымъ о-ва

St. Helen's Island, Ile Ronde и Moffatt's Island были ничтожны. Весь объемъ этихъ острововъ надъ уровнемъ низкой воды менѣе 12 милліоновъ куб. ядровъ.

Эта закупорка льдомъ фарватера вызываетъ подъемъ рѣки до тѣхъ поръ, пока увеличенный въ этомъ участкѣ объемъ ея и добавочная высота не вызовутъ необходимую раскупорку, между тѣмъ какъ рѣка, не отягченная болѣе льдомъ, измѣняетъ свой объемъ, поверхностный уклонъ и скорость, въ зависимости отъ съуженія, расширенія, углубленія или обмелѣнія ея.

Между прочимъ, комиссія нашла, что при скопленіяхъ льда, по отношенію ко всей длинѣ поперечныхъ сѣченій и ко всѣмъ углубленіямъ рыхлаго льда, наблюдается замѣчательная однородность площади (in the area), оставленной свободною для воды прохода, вездѣ между Lachine Rapids и Varennes.

Рѣка видимо распредѣляетъ приплывающій рыхлый ледъ такъ, чтобы на пути находилось наименьшее его количество.

Весьма значительное количество рыхлаго льда было найдено въ мартѣ, можетъ быть еще большее количество его было унесено внизъ, послѣ ледостава.

Въ теченіе всей зимы, по наблюденіямъ въ прорубяхъ, находили, что рыхлый ледъ плылъ внизъ мимо Монреаля. Ледъ этотъ несомнѣнно приплывалъ отъ Лачинскихъ пороговъ и прошелъ черезъ всю длину Laprairie Basin.

Какъ далеко продолжается зимній путь этого льда, комиссія не могла установить. Вѣроятно, онъ слѣдуетъ по главному фарватерному теченію, пока не будетъ отклоненъ отъ этого направленія какой-нибудь заводью или заворотомъ воды и пока не попадетъ въ болѣе спокойную воду, гдѣ будетъ имѣть достаточно времени, чтобы прикрѣпиться ко льду, поверхъ его расположенному.

Средства для измѣренія скоростей теченія подъ рыхлымъ льдомъ не имѣется, но предполагается, что когда рыхлый ледъ прикрѣпляется на фарватерѣ къ поверхностному льду въ опредѣленномъ размѣрѣ, то мѣстное теченіе ускоряется и не позволяетъ болѣе рыхлому льду останавливаться.

Какимъ бы путемъ это не происходило, поперечныя сѣченія доказываютъ, что рѣка, подобно разсудительному упаковщику, распредѣляетъ рыхлый грузъ по мѣрѣ его прибытія и такъ его устанавливаетъ, чтобы поддерживать свободный проходъ для воды.

Однородность живаго сѣченія подразумѣваетъ однородность те-

ченія, въ продолженіе всего этого скопленія льда, что, какъ мы знаемъ, не существуетъ, когда рѣка свободна отъ льда.

Лѣтнее теченіе противъ г. Монреаля много сильнѣе, чѣмъ вверху въ Laprairie Basin, или чѣмъ въ рѣкѣ ниже Hochelaga. Первое уменьшается, а второе увеличивается заторомъ льда, и благодаря этому увеличенію скорости теченія, главнымъ образомъ въ Laprairie Basin, много рыхлаго льда проносится далеко внизъ отъ г. Монреаля.

Источники, откуда все это громадное количество льда приносится, слѣдующіе: вся рѣка выше г. Монреаля, до lake St. Louis, закрыта, слѣдовательно вырабатывается участкомъ рѣки ниже этого озера, до Laprairie Basin, съ 29 квадратными милями водной поверхности, изъ которой 19 кв. миль оставались открытыми вплоть до передвижки затора къ Victoria Bridge.

Послѣ заполненія этого пространства льдомъ, открытая площадь отъ выхода изъ Lachine rapids до lake St. Louis, выше о ва Дарваль, заключающая около 12 кв. миль, остается всю зиму открытой.

Озеро St. Francis окончательно закрывается въ декабрѣ, но 15 кв. миль открытой воды между нимъ и озеромъ St. Louis посылаетъ внизъ рыхлый ледъ въ такомъ количествѣ, что фарватеръ въ Beauharnois запруживается, подымаетъ воду примѣрно на 13 футъ, теченіе рѣки Ottawa, на сторонѣ Vaudreuil о-ва Perrot, задерживается и поворачиваетъ назадъ, и значительное количество воды р. св. Лаврентія устремляется въ озеро Two Mountains, а часть течетъ внизъ по Back River (главному рукаву р. Оттавы) и вновь поступаетъ въ р. св. Лаврентія, въ мѣстности Bout de l'Ile въ 15 миляхъ ниже г. Монреаля.

Къ означенному отчету монреальской комиссіи полезно привести еще указаніе mr. Keefer'a на ежегодное покрытіе льдомъ, вырабатываемымъ Седарскими порогами (Cedar rapids), выхода р. св. Лаврентія въ головной участокъ озера St. Louis и вызываемый этимъ розливъ р. св. Лаврентія вокругъ головной части о-ва Ile Perrot въ фарватерѣ р. Оттавы.

Это замѣчается жителями г. Монреаля каждый годъ по чистотѣ воды, доставляемой водопроводами въ февралѣ и мартѣ, отличающейся отъ свойствъ воды въ другое время.

Оттава, вливаясь въ оз. St. Louis, течетъ внизъ (сливаясь съ р. св. Лаврентія) сѣвернымъ берегомъ и снабжаетъ водой акведукъ въ вершинѣ Лачинскихъ пороговъ.

Въ теченіе зимы р. Оттава бываетъ вынуждена протекать исключительно по фарватеру (рукаву) къ сѣверу отъ о-ва Мон-

реаля, называемому Back river, и въ это время мѣсто ея, вдоль сѣвернаго берега, занимаетъ р. св. Лаврентія, протекая вокругъ о-ва Ile Perrot.

Слѣдовательно, акведукъ питается чистой голубой водой этой рѣки въ теченіе большей части зимнихъ мѣсяцевъ. Воды обѣихъ рѣкъ столь различны, что лѣтомъ линія водораздѣла легко можетъ быть замѣтна.

Голубая вода р. св. Лаврентія протекаетъ по южному берегу, а темная вода р. Оттавы по сѣверному, прежде чѣмъ они смѣшаются далѣе внизу.

M-r Keefer указываетъ на вредныя явленія доннаго льда въ очень холодныя зимы, уклоняющаго рѣку изъ ея русла, отчего, по его мнѣнію, и образуются „старорѣчья“ и рукава для высокой воды, находимыя около нѣкоторыхъ пороговъ и быстринъ воды. Также имъ указывается, что наибольшее образованіе доннаго льда, по отношенію къ толщинѣ и пространству его, чаще бываетъ въ болѣе глубокой водѣ, выше пороговъ. Непрерывное наростаніе доннаго льда замѣчалось днемъ и ночью и безъ яснаго неба, но всегда при температурѣ ниже 0°, причемъ донный ледъ достигалъ большей толщины. По его мнѣнію, нѣтъ сомнѣнія, что въ холодныя зимы, около г. Монреаля, образованіе доннаго льда простирается на глубину 46 футъ. Изъ сравненія наблюденій надъ доннымъ льдомъ и шугой или ледянымъ саломъ (anchor-ice сравнивается съ frasil), m-r Keefer указываетъ на факты, что на поверхности главнаго фарватера, съ началомъ зимняго времени, часто происходитъ обильное образованіе „сала“ (sluch-ice или frazil), которое скопляется въ массы взаимнымъ притяженіемъ или сцѣпленіемъ частицъ. „Есть-ли это тотъ сырой матеріалъ, изъ котораго образуется ростъ доннаго льда, или нѣтъ, во всякомъ случаѣ остается фактъ, что наиболѣе обильное количество сала бываетъ, когда на днѣ нѣтъ доннаго льда; съ другой стороны наблюдается быстрый ростъ доннаго льда, когда не видно никакого рода льда на поверхности воды“. Онъ находитъ возможнымъ образованіе доннаго льда изъ образующихся на поверхности воды кристалловъ, но первоначальный слой, къ которому уже пристаютъ кристаллы, долженъ образоваться на мѣстѣ, in situ. Этотъ промежуточный между грунтомъ и рыхлымъ льдомъ слой льда возможно, по его мнѣнію, ожидать отъ потери, т. е. излученія тепла дномъ рѣки. Онъ также приводитъ въ доказательство утвержденіе интеллигентныхъ мельниковъ, на которыхъ можно

положиться, что мѣшающій дѣйствію ледъ никогда не бываетъ въ мельничныхъ лоткахъ, или желобахъ, какой бы силы не былъ холодъ, при условіи если солнце свѣтитъ днемъ, а ночью небо покрыто облаками. Замѣтки кончаются заключеніемъ, что донный ледъ не представляетъ изъ себя одно только сплошное зло. Вслѣдствіе громаднаго количества его и огромнаго количества выдѣляемой, при его образованіи, изъ воды скрытой теплоты, ледъ этотъ играетъ очень важную роль въ смягченіи суровости климата. Покрытое льдомъ озеро или рѣка практически закрыты для выдѣленія тепла, тогда какъ открытая рѣка представляетъ изъ себя обильный источникъ теплоты.

Монреальская комиссія была, какъ уже упоминалось, организована послѣ большого зимняго наводненія рѣки св. Лаврентія въ зиму 1886-87 гг. Въ то время около самой набережной г. Монреаля образовывались невѣроятныхъ размѣровъ, какъ горы, нагроможденія льда, при весенней подвижкѣ его. Въ настоящее время, разрушительное явленіе это совершенно устранено постройкой „guard-pier", который представляетъ изъ себя длинный и узкій искусственный островъ, расположенный посреди рѣки, противъ гавани, и отклоняющій главную струю теченія въ сторону отъ города *).

Комиссію составляли: Thos. C. Keefer, Henry Perley, John Kennedy и St. George, который произвелъ самое тщательное изслѣдованіе рѣки на всемъ протяженіи района наводненій.

Прилагаемые здѣсь чертежи, заключались въ отчетѣ канадскихъ инженеровъ Montreal Flood Commisioners и представляютъ результатъ тщательныхъ промѣровъ и измѣреній состоянія льда между lake St. Louis (черт. 1) и указаннымъ на послѣднемъ чертежѣ конечнымъ пунктомъ Varennes. Лачинскіе пороги (Lachine rapids) лежатъ при выходѣ изъ оз. St.-Louis, черезъ которое р. св. Лаврентія протекаетъ и въ которомъ, по направленію показанному пунктиромъ, производились измѣренія, показанныя на двухъ діаграммахъ (черт. 2 и 3). Воды р. св. Лаврентія вливаются въ озеро черезъ Седарскіе пороги (Cedar rapids), вправо отъ о-ва Перро (Ile Perrot), и въ этомъ мѣстѣ вырабатывается зимой наибольшее количество сала или шуги. Фарватеръ совершенно закупоривается

*) Надо полагать, что этимъ сооруженіемъ достигнуто и устраненіе осажденія въ Монреальской гавани камней и частей грунта, приносимыхъ льдомъ, отчего гавань ранѣе сильно страдала. Этотъ переносъ камней и ихъ отложеніе доставили много заботъ инженерамъ г. Монреаля.

здѣсь скопленіями сала, или шуги, подъ поверхностью озера и воды св. Лаврентія выпираются и направляются, вокругъ вершины (головы) о-ва Perrot, въ фарватерѣ р. Оттавы, въ пунктѣ St.-Anne. Продольныя и поперечныя сѣченія показываютъ глубину скопленій рыхлаго льда въ вертикальномъ масштабѣ 60 футъ въ дюймѣ и въ горизонтальномъ 3.000 футъ въ дюймѣ.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ рыхлый ледъ былъ столь плотенъ, что невозможно было достигнуть дна рѣки.

Двѣ послѣднія діаграммы иллюстрируютъ протяженіе скопленій сала, или шуги, т. е. рыхлаго льда, внизъ по теченію отъ Лачинскихъ пороговъ, который вырабатывается въ водѣ, вытекающей изъ-подъ поверхностнаго льда озера въ Лачинскихъ порогахъ, на протяженіи отъ 8 до 10 миль открытой воды пороговъ, до ледянаго покрова рѣки, который встрѣчается по выходѣ изъ пороговъ. Одна изъ діаграммъ (черт. 4) показываетъ распредѣленіе рыхлаго льда, по сравненію со свободнымъ для воды ходомъ, занятымъ самыми быстрыми струями воды, а другая (черт. 5) представляетъ типичное продольное сѣченіе въ томъ же направленіи, указывая неправильныя формы скопленій кристалловъ льда *). Городъ Монреаль лежитъ между Victoria Bridge и Hochelaga; Varennes лежитъ въ 12 миляхъ ниже Монреаля.

Приводимыми данными вполнѣ подтверждаются ранѣе изложенные выводы мои объ образованіи на рѣкахъ зимнихъ заторовъ льда изъ рыхлаго губчатаго льда, а равно и основное участіе этого рода льда въ образованіи на рѣкахъ ледохода и ледостава.

Свѣдѣнія эти совершенно неожиданно были получены мною изъ Америки вмѣстѣ съ письмомъ проф. Барнеса, который, посвятивъ себя изученію вопросовъ, связанныхъ съ образованіемъ доннаго льда, и найдя указаніе о моихъ работахъ въ „Berichte der Deutschen Physikalischen Gesellschaft,“ любезно прислалъ мнѣ свои чрезвычайно цѣнные труды **), за что считаю долгомъ принести г. Барнесу глубокую благодарность, такъ какъ теперь получилась возможность вполнѣ установить аналогичность явленій и ихъ взаимную сущность въ Америкѣ и Россіи, что должно облегчить борьбу съ вреднымъ вліяніемъ рыхлаго доннаго льда и находя-

*) Различіе масштабовъ здѣсь не даетъ возможность изслѣдовать связь съ дномъ, которая наблюдается въ сѣченіяхъ заторовъ р. р. Невы и Вислы.

**) Въ настоящее время уже вышло въ свѣтъ изданіе „Ice formarion with special reference to anchor-ice and frazil“ by H. T. Barnes, Professor of Physics. Montreal 1906.

щейся въ слояхъ воды шуги на подъемы уровня рѣкъ, образованіе зимнихъ заторовъ льда и на дѣйствіе гидравлическихъ сооруженій.

V.

На основаніи всѣхъ изложенныхъ наблюденій, сопоставляя факты и анализируя ихъ, можно формулировать новыя понятія о процессахъ замерзанія, вмѣстѣ съ соображеніями о задачахъ дальнѣйшихъ изслѣдованій образованія доннаго льда и ледяныхъ заторовъ, въ слѣдующихъ заключительныхъ выводахъ:

1. Основною особенностью охлажденія и нагрѣванія текучихъ водъ представляется однообразіе температуры во всей массѣ воды у дна и близъ поверхности, вызываемое постояннымъ перемѣшиваніемъ всѣхъ частицъ воды силою теченія, отъ уклона рѣки.

Большія массы текучей воды весьма медленно излучаютъ тепло и столь же медленно пріобрѣтаютъ его. Температура массы воды въ рѣкѣ даетъ точное о себѣ представленіе лишь при измѣреніи *на теченіи*, но не въ заводяхъ у берега, за дамбами, пристанями и т. п., гдѣ прекращается процессъ перемѣшиванія всѣхъ слоевъ воды. Температура воды зимой на большихъ равнинныхъ рѣкахъ, подъ ледянымъ покровомъ, стоитъ близъ 0^0.

2. Послѣ пониженія температуры воды, осенью, до точки замерзанія, при продолжающейся морозной погодѣ, происходитъ легкое переохлажденіе всей массы воды въ рѣкѣ ниже точки замерзанія, сопровождаемое образованіемъ кристалловъ льда, соотвѣтственно количеству тепла, которое отнимается отъ воды.

3. Сталкиваясь на теченіи и смерзаясь между собою въ разныхъ неправильныхъ положеніяхъ, кристаллы льда находятся во всѣхъ слояхъ въ формѣ «шуги» или «ледяного сала» (frazil ice) и, примерзая къ грунту, водорослямъ на днѣ и т. п., образуютъ губчатыя массы рыхлаго «доннаго» льда (anchor ice).

Причины наблюдавшагося мною въ 1903 г. на р. Свири вѣтвистаго строенія губокъ непрозрачнаго льда, вмерзшихъ въ чистый голубой ледъ, остаются неизвѣстными.

4. Всякаго вида рыхлый ледъ, подобно губкѣ, насыщенъ водой, и состоитъ изъ кристалловъ льда, того же строенія, какъ и голубой, чистый, плотный ледъ поверхностнаго образованія, и обладаетъ тѣми же свойствами преломленія лучей и поляризаціи, различаясь формой кристалловъ и твердостью, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій теченія и степени переохлажденія воды.

5. Въ моряхъ и въ подверженныхъ значительному волненію большихъ озерахъ, гдѣ, въ прибрежной полосѣ и на отмеляхъ, въ мѣстахъ прибоя, замѣчается образованіе рыхлаго доннаго льда, процессъ естественно можетъ происходить, какъ и на рѣкахъ, послѣ равномѣрнаго перемѣшиванія всѣхъ слоевъ воды между дномъ и поверхностью силою волненія, которая замѣняетъ здѣсь силу теченія, и послѣ пониженія температуры всей перемѣшанной массы воды до точки замерзанія. Послѣднимъ обстоятельствомъ обусловливается предѣлъ глубины, на которой донный рыхлый ледъ можетъ образовываться.

6. Для устраненія неопредѣленности въ терминологіи и происходящихъ отъ того недоразумѣній, представляется необходимымъ рыхлый ледъ, примерзшій къ ложу рѣки, къ камнямъ, водорослямъ и т. п., именовать по мѣсту нахожденія «доннымъ», въ отличіе отъ «шуги» и «ледяного сала», находящихся въ свободномъ состояніи, на теченіи, тѣмъ болѣе, что «донный» ледъ и находящаяся на теченіи «шуга» вызываютъ различнаго рода явленія. Напримѣръ, слѣдствіемъ образованія доннаго льда бываетъ подъемъ, переносъ и отложеніе камней и грунта въ разныхъ участкахъ рѣкъ и подъемъ горизонта воды до поверхностнаго замерзанія, въ то время какъ «шуга» или «ледяное сало» образуютъ ледяныя подпруды или заторы льда и засоряютъ пріемныя трубы вододѣйствующихъ сооруженій и пароходныхъ машинъ.

7. Начало ледохода не всегда совпадаетъ съ моментомъ наиболѣе пониженной температуры атмосферы, хотя всегда является слѣдствіемъ ея. Массы рыхлаго льда, всплывая на поверхность въ видѣ «шуги», образуютъ ледоходъ изъ мягкаго, рыхлаго льда, который при морозѣ, съ поверхности, быстро твердѣетъ и пріобрѣтаетъ видъ крѣпкихъ бѣлоснѣжныхъ льдинъ, оставаясь рыхлымъ въ нижнихъ подводныхъ частяхъ.

При оттепели, или мягкой погодѣ, наблюдается ледоходъ изъ рыхлой шуги, или ледянаго сала, которое, въ обратномъ процессѣ расчлененія, представляетъ изъ себя продуктъ размягченія и раздѣленія на мелкія составныя части губчатыхъ массъ шуги.

8. Массы рыхлаго доннаго льда всплываютъ:

а) при сильныхъ морозахъ—отъ быстраго увеличенія объема;

б) при слабомъ морозѣ (напр. —4°)—отъ непосредственнаго дѣйствія солнечныхъ лучей;

в) при наступленіи оттепели.

Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ всплываніе доннаго льда обусловливается нагрѣваніемъ массы воды выше точки замерзанія, при наличіи въ рѣкѣ доннаго льда, образовавшагося въ предшествовавшую морозную погоду, или дѣйствіемъ сквозь воду и донный ледъ части солнечныхъ лучей, непосредственно нагрѣвающихъ дно.

9. Внезапность всплыванія доннаго льда обусловливается теплотой подпочвы дна рѣки, которая, въ соединеніи съ нагрѣваніемъ воды отъ дѣйствія наружной атмосферы или солнечныхъ лучей, на ничтожныя тысячныя и даже десятитысячныя доли градуса выше точки замерзанія, уничтожаетъ условія примерзанія льда къ дну рѣки.

10. Въ первой стадіи ледостава, отъ той же теплоты подпочвы дна рѣки, особенно на большихъ и глубокихъ рѣкахъ, при прекращеніи излученія тепла изъ массы воды въ рѣкѣ, можно въ первые же дни ожидать всплыванія подъ поверхностный ледъ тѣхъ же массъ рыхлаго доннаго льда, которыя ранѣе, при морозахъ, могли образоваться, но до окончанія ледохода не успѣли еще вполнѣ отдѣлиться отъ дна.

Эти массы, всплывая, могутъ содѣйствовать образованію заторовъ или ледяныхъ подпрудъ, и выясненіе этого обстоятельства было бы особенно желательно въ мѣстахъ образованія заторовъ, изслѣдованіемъ состоянія дна рѣки передъ ледоходомъ и опредѣленіемъ, по поперечнымъ и продольнымъ профилямъ, имѣется ли рыхлый ледъ на днѣ; всплываетъ ли этотъ ледъ тотчасъ послѣ ледостава, и какъ распредѣляется и нарастаетъ затѣмъ ледъ по тѣмъ же профилямъ.

11. Существуетъ положительная вѣроятность ожидать въ нѣкоторыхъ, а можетъ быть и во всѣхъ случаяхъ первоначальнаго наростанія рыхлаго доннаго льда крайне быстрое, въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, образованіе пленки плотнаго льда на днѣ рѣки отъ лучеиспусканія сквозь воду, въ атмосферу, теплоты отъ почвы дна и отъ другихъ въ водѣ предметовъ, въ ясную ночь, при температурѣ воды около точки замерзанія *).

Съ момента образованія такой пленки, при пониженіи температуры воздуха, образующіеся въ массѣ воды кристаллы должны получить возможность особенно легко примерзать къ дну, и этимъ можетъ объясняться поразительно быстрое, иногда въ одну ясную ночь наростаніе массъ рыхлаго *доннаго* льда, при слабомъ морозѣ

*) Подъ теплотой тѣла разумѣется количество заключающейся въ немъ молекулярной энергіи. При излученіи этой энергіи сквозь воду и атмосферу въ міровое пространство особаго разряда длинными лучами, не поглощаемыми водой, возможно ожидать промерзанія грунта дна рѣки, при охлажденіи его ниже 0°.

и отсутствіи наканунѣ признаковъ доннаго льда, составныя части котораго, т. е. кристаллы, проносились до того времени теченіемъ вмѣстѣ съ массой воды, не задерживаясь, т. е. не примерзая къ дну.

Подтвержденіе существованія такой пленки льда физическими наблюденіями составляетъ трудную задачу ближайшихъ будущихъ наблюденій, что для не спеціалистовъ будетъ врядъ ли доступно.

Такимъ образомъ организація научныхъ ночныхъ наблюденій представляется существенно необходимой для опредѣленія физическихъ условій состоянія атмосферы, воды и почвы дна, въ періодъ, непосредственно предшествующій появленію рыхлаго льда на днѣ рѣкъ и на днѣ береговой полосы озеръ, гдѣ можно ожидать встрѣтить, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, болѣе толстую пленку льда, при отсутствіи размывающаго дѣйствія теченія воды.

12. Въ случаѣ возможности образованія плиточнаго твердаго доннаго льда ночью, при особыхъ условіяхъ ясности атмосферы и излученія тепла изъ почвы дна рѣки, представляется возможнымъ, какъ исключительный случай, при температурѣ воды ночью на ничтожную долю градуса выше точки замерзанія и при слабомъ морозѣ, допустить появленіе днемъ, или рано утромъ (при повышенной температурѣ воздуха, или при дѣйствіи лучей солнца) ледохода изъ тонкаго плиточнаго льда, и такого рода неожиданный ледоходъ на р. Свири наблюдался осенью 1904 г. изъ широкихъ тонкихъ ледяныхъ плитокъ, при неопредѣленныхъ условіяхъ образованія ихъ въ мягкую погоду, послѣ ледохода изъ донныхъ глыбъ и послѣ оттепели, когда рѣка должна была совсѣмъ очиститься отъ доннаго льда.

13. На участкахъ рѣкъ съ тихимъ теченіемъ и передъ вершинами пороговъ можно ожидать встрѣтить болѣе значительное количество доннаго льда, сравнительно съ порогами и съ быстринами, гдѣ донный ледъ, отрываясь теченіемъ, при ослабленіи морозовъ, уносится внизъ по рѣкѣ. Въ порогахъ и быстринахъ, гдѣ вода бурлитъ и быстро перемѣшивается и отъ соприкосновенія съ морознымъ воздухомъ теряетъ наибольшее количество тепла (которое, при образованіи кристалловъ льда, пополняется выдѣленіемъ изъ воды соотвѣтствующаго количества скрытой теплоты), естественно образуется и наибольшее количество рыхлаго льда.

14. Ледоходъ и ледоставъ являются, главнымъ образомъ, слѣдствіемъ образованія въ рѣкахъ большихъ массъ рыхлаго льда. Ледяной покровъ, состоящій изъ непрозрачнаго замерзшаго съ поверхности и въ глубину рыхлаго льда, отличается по внѣшнему виду

отъ образующагося въ полыньяхъ рѣки голубаго прозрачнаго льда, и такой ледъ быстрѣе разрушается отъ дѣйствія тепла, чѣмъ голубой прозрачный ледъ.

15. Значеніе снѣжныхъ осадковъ и береговаго льда въ образованіи ледохода второстепенное. Ледоходъ можетъ появиться и часто появляется при отсутствіи этихъ элементовъ. Рыхлый ледъ усиливаетъ толщину забереговъ льда, выдвигая ихъ на фарватеръ рѣки.

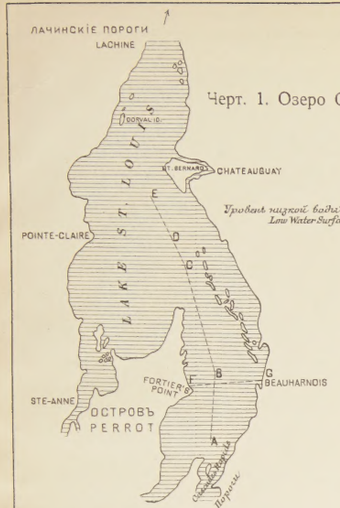
16. Зимніе заторы льда и наводненія вызываются скопленіями массъ рыхлаго льда, т. е. шуги и ледяного сала (frazil ice), смерзающихся между собою и съ поверхностнымъ льдомъ, сквозь поры которыхъ фильтруется вода, отлагая частицы грунта. На участкахъ рѣкъ, покрытыхъ льдомъ, образованіе шуги и ледяного сала прекращается.

Л. Владиміровъ.

(Извлечено изъ „Журнала Министерства Путей Сообщенія", кн. III, 1907 г.).

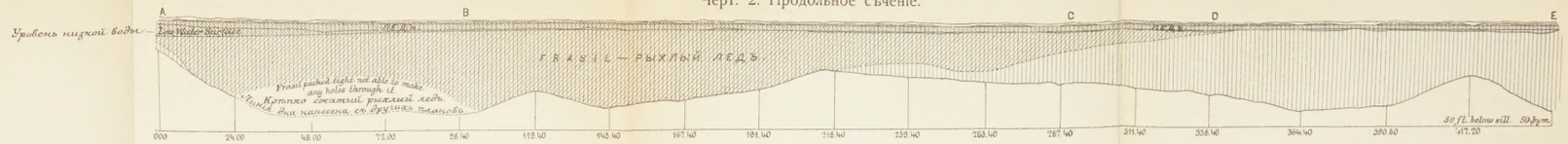
Печатано по распоряженію Канцеляріи Министра Путей Сообщенія.

Типографія М-ва Путей Сообщенія (Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К°), Фонтанка, 117

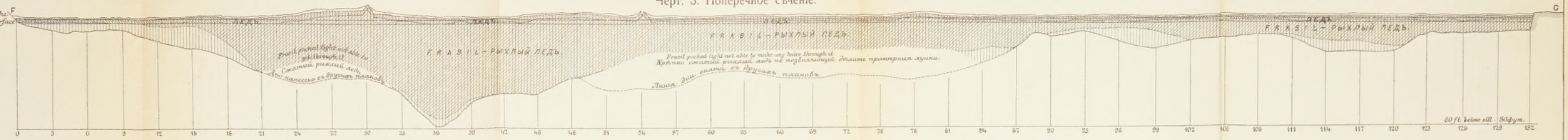


Черт. 1. Озеро С.-Луи.

Черт. 2. Продольное сѣченіе.

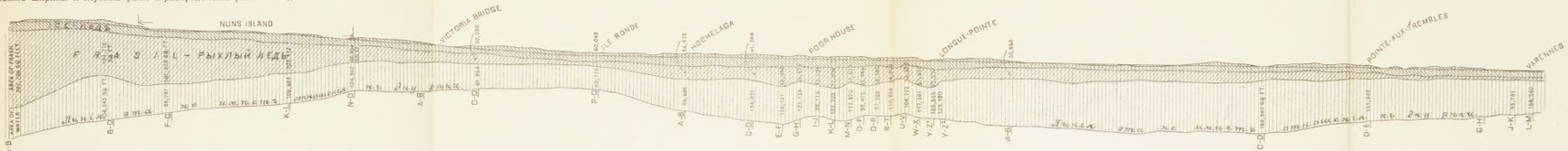


Черт. 3. Поперечное сѣченіе.



Схематическій профиль взятый изъ поперечныхъ сѣченій текучей подъ льдомъ свободной воды при всѣхъ условіяхъ ширины и глубины рѣки и распредѣленія рыхлаго льда.

Черт. 4. Діаграмма указываетъ распредѣленіе рыхлаго льда и свободной воды.



Черт. 5. Продольное сѣченіе.

Черт. 2-5. Четыре сѣченія рѣки Св. Лаврентія, изображающія скопленія рыхлаго льда подъ поверхностнымъ льдомъ.

Автолит. бывш. Ф. Кремера. Спб.

СКЛАДЪ ИЗДАНІЙ:

Л. Владиміровъ, гор. Лодейное Поле.